

BEWEGUNGSFORMEN und ihre REALISIERUNGEN

Wissenschaftstheoretische Untersuchungen zu einer
technikorientierten Rekonstruktion der klassischen Mechanik

von

Holm Tetens

aus

Oerlinghausen/Kr. Lemgo

1977
—

1980 № 4 16

BEWEGUNGSFORMEN und ihre REALISIERUNGEN

Wiederholungsfragen und Antworten zu einer
historisch-philosophischen Einführung in die Philosophie



Digitized by the Internet Archive
in 2026

BEWEGUNGSFORMEN und ihre REALISIERUNGEN

Wissenschaftstheoretische Untersuchungen zu einer
technikorientierten Rekonstruktion der klassischen Mechanik

INAUGURAL - DISSERTATION

im Fachbereich Philosophie,
Geschichte und Sozialwissenschaften
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Holm Tetens

aus

Oerlinghausen/Kr. Lemgo

Erlangen 1977



Tag der mündlichen Prüfung: 27. Juli 1977
Dekan : Professor Dr. Rumpel
Erstreferent: Professor Dr. Dr. h.c. Lorenzen
Korreferent : Professor Dr. Thiel

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	S. 1
Kapitel 1: DIE DER MECHANIK ZUGRUNDELIEGENDE.....	S. 11
ZIELSETZUNG	
1.1. Die für die Mechanik relevante Technik.....	S. 11
1.1.1. Technische Handlungen.....	S. 11
1.1.2. Die Erzeugung räumlicher Gestalten.....	S. 15
1.1.3. Die Reproduktion von Gangverhältnissen....	S. 19
zwischen Verläufen	
1.2. Die Bildung technischen Wissens über die....	S. 24
technische Beherrschung von Bewegungsformen als Zweck der Mechanik	
1.3. Die Mechanik als technikorientierte Theorie.	S. 27
und als Naturwissenschaft	
Kapitel 2: BEWEGUNGSFORMEN ALS IDEALE.....	S. 35
KONSTRUKTIONEN	
2.1. Die geometrisch-chronometrische Konstruktion	S. 35
von Bewegungsformen	
2.1.1. Die geometrische Festlegung der Bahnen....	S. 35
2.1.2. Die Festlegung des Gangverhältnisses.....	S. 37
durch Uhren	
2.2. Die ideale Konstruktion von Bewegungsformen.	S. 41
und ihre Beschreibung durch Bahnfunktionen	
2.3. Geometrie und Chronometrie als Prototheorien.	S. 43
der Längen- und Zeitmessung	
2.4. Zu den Stetigkeits- und Differenzierbar-....	S. 49
keitseigenschaften der Bahnfunktionen	
2.5. Kinematische Bezugssysteme.....	S. 55
Kapitel 3: METRISCHE BEGRIFFE IN DER ANALYSE.....	S. 58
DER ANALYTISCHEN WISSENSCHAFTSTHEORIE	
3.1. Die Rekonstruktion metrischer Begriffe.....	S. 59
in der analytischen Wissenschaftstheorie	
3.1.1. Die Rekonstruktion metrischer Begriffe....	S. 59

3.1.2. Der Längen- und der Zeitbegriff in der.....	S. 70
Analyse der Analytischen Wissenschaftstheorie	
3.1.3. Die Vorteile metrischer Begriffe.....	S. 77
- eine Kritik der Argumente der Analytiker	
3.2. Metrische Begriffe als theoretische Begriffe..	S. 83
3.2.1. Das analytische Konzept der theoretischen...	S. 83
Begriffe - ein prinzipieller Einwand	
3.2.2. Diskussion der Gründe für die Rekon-.....	S. 94
struktion metrischer Begriffe als theoretische	
Konstrukte	
 Kapitel 4: TECHNISCHES HANDELN UND VERLAUFGESetze	S. 103
4.1. Das elementare technische Wissen	S. 103
4.1.1. Das Wissen über die Wirkungen technischer...	S. 104
Handlungen	
4.1.2. Das Wissen über Verläufe.....	S. 108
4.2. Technikorientierte Verlaufsgesetze.....	S. 111
4.2.1. Das Experiment.....	S. 111
4.2.2. Technikorientierte Verlaufsgesetze.....	S. 115
4.2.3. Die wichtigsten Eigenschaften technik-.....	S. 121
orientierter Verlaufsgesetze	
4.3. Technikorientierte Verlaufsgesetze.....	S. 124
und Naturgesetze	
 Kapitel 5: DIE DISKUSSION UM DIE GESETZES-.....	S. 131
AUSSAGEN IN DER ANALYTISCHEN WISSEN-	
SCHAFTSTHEORIE	
5.1. Die Konstituierung des Problems der.....	S. 131
Gesetzesartigkeit von Aussagen in der	
analytischen Wissenschaftstheorie	
5.1.1. Erklärung und Gesetzesartigkeit.....	S. 134
- pragmatische Aspekte des HEMPEL-	
OPPENHEIM-Schemas	
5.1.2. Induktion und Gesetzesartigkeit.....	S. 139
5.2. Gesetzesaussagen als generelle Sub-.....	S. 144
junktionen - eine Kritik	

Kapitel 6: DIE PROTOPHYSIK DER DYNAMIK.....	S. 160
6.1. Zur Unterscheidung apriorisch-empirisch.....	S. 160
6.2. Dynamisch orientierte Bezugssysteme.....	S. 168
6.2.1. Die Auswahl eines dynamisch orientierten... Bezugssystems	S. 169
6.2.2. Zur Kritik des Relativitätsprinzips.....	S. 172
6.3. Die Form der Verlaufsgesetze in der Mechanik	S. 176
6.3.1. Die Bedeutung der Begriffe "Geschwindig-... keit" und "Beschleunigung" für die Dynamik	S. 177
6.3.2. Die klassische Mechanik als Bewegungs-..... theorie von Punktkörpern	S. 183
6.3.3. Die Begriffe "Masse" und "Kraft" und ihre Stellung innerhalb der Mechanik	S. 189
6.3.3.1. Zum Status des Massenbegriffs.....	S. 194
6.3.3.2. Die Massenmessung.....	S. 199
6.3.4. Kraftgesetze.....	S. 209
6.4. Das NEWTON-Programm und die methodische Be-.. gründung der Dynamik	S. 215
6.4.1. Das Prinzip der linearen Superposition.....	S. 215
6.4.2. Das NEWTON-Programm als methodische..... Grundlage der Dynamik	S. 218
6.5. Die Mechanik als empirische Theorie.....	S. 221
6.5.1. Zur methodischen Funktion von Meßdaten..... für die Mechanik	S. 221
6.5.2. Die Revidierbarkeit der klassischen..... Mechanik	S. 229
6.5.2.1. Zur Revidierbarkeit von Geometrie..... und Chronometrie (Kinematik)	S. 236
6.5.2.2. Zur Revidierbarkeit des klassischen..... Massenbegriffs	S. 242
6.6. Das methodische Verhältnis der technik-..... orientierten Mechanik zur Himmelsmechanik	S. 246

Kapitel 7: DIE KLASSISCHE MECHANIK IN DER SICHT....	S. 255
DER ANALYTISCHEN WISSENSCHAFTSTHEORIE	
7.1. Neuere Wandlungen des Theoriebegriffs in	S. 255
der analytischen Wissenschaftstheorie und die	
klassische Mechanik als Theorie	
7.2. Masse als theoretischer Begriff.....	S. 266
7.3. Zur Problematik von Akzeptierungs- und	S. 273
Verwerfungsregeln und das NEWTON-Programm	
7.4. Zur Analyse der "NEWTONschen Axiome".....	S. 292
Literaturverzeichnis.....	S. 305

EINLEITUNG

In seiner Konstanzer Antrittsvorlesung "Zweck und Methode der Physik aus philosophischer Sicht" macht JANICH einen Vorschlag zur Aufgabenbestimmung der Physik: "Mein Vorschlag bedeutet, daß an die Stelle der verstaubten Ideologie vom Naturforscher, der die Welt enträtselt, auch und gerade im Selbstverständnis der Physiker als einzige die Aufgabe der Technikermöglichung tritt"¹⁾.

Ich habe in dieser Arbeit den Versuch unternommen, die methodologischen Konsequenzen einer solchen Neuorientierung der Physik für die klassische Mechanik herauszuarbeiten. Die Arbeit enthält eine systematische Rekonstruktion der klassischen Mechanik und daneben zwei Stränge einer kritischen Auseinandersetzung mit gegenläufigen Auffassungen.

Der systematische Grundgedanke und Angelpunkt der Arbeit ist die Behauptung, daß die klassische Mechanik, in technikermöglichender Absicht betrieben, zu begreifen ist als eine Theorie über die Realisierung von Bewegungsformen. Legt man der Theoriebildung in der Mechanik diese Zwecksetzung zugrunde, so läßt sich schrittweise dafür argumentieren, daß die mechanische Theorie methodisch darzustellen ist in Form der Grundgleichung

$$m \ddot{\mathbf{r}}(t) = \sum_{i=1}^n \mathbf{k}_i(\mathbf{r}(t), \dot{\mathbf{r}}(t), t).$$

Die schrittweise Herleitung dieser aus methodischen Gründen anzustrebenden Form des mechanischen Wissens macht den Inhalt der systematischen Rekonstruktion der Arbeit aus.

Die Mechanik als technikorientierte und technikermöglichende Theorie der Bewegungserzeugung zu verstehen, widerspricht jedoch dem etablierten und gängigen Selbstverständnis der

1) JANICH 1973, S. 17 (Hervorh. im Original)

Physiker. Diesem Selbstverständnis zufolge ist die Mechanik eine Naturwissenschaft, und ihre Aufgabe wird darin erblickt, natürliche Bewegungen, Bewegungen, die in der Natur vorkommen, zu beschreiben und zu erklären.

Wenn wir also die Mechanik als technikorientierte Wissenschaft rekonstruieren, so wird damit zugleich eine Kritik an dem herrschenden Verständnis der Mechanik impliziert. Wir behaupten gerade nicht, Bewegungen technisch verfügbar zu machen, sei die Aufgabenstellung, die faktisch bei der Entwicklung der Mechanik den Physikern vor Augen gestanden ist.²⁾

Eine Kritik am Verständnis der Physik als Naturwissenschaft kann verschiedene Gründe für sich anführen: Der Zweck der Naturbeschreibung und -erklärung läßt sich nicht moralisch-politisch rechtfertigen. Damit diese Kritik greift, muß nur das Eine zugestanden werden, daß Wissenschaft zu treiben eine zweckgerichtete Tätigkeit ist, die Rechtfertigungsverpflichtungen unterliegt. Diese Kritik ist an anderer Stelle vorgetragen worden und wird daher in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt³⁾.

Geht man von dem Ziel der Technikermöglichung aus, so lassen sich wichtige Bestandteile und Eigenschaften der mechanischen Theorie einsichtig begründen, die bei einem

2) Wie MITTELSTRASS 1970 gezeigt hat, spricht jedoch auch wissenschaftshistorisch viel für die These, daß die Physik eine Technikwissenschaft ist. Jedenfalls lassen sich klare handwerklich-technische Traditionen nachweisen, denen sich die Entstehung der neuzeitlichen "Naturwissenschaften u.a. verdankt. Das versucht z.B. auch ZILSEL 1976 nachzuweisen. MITTELSTRASS zeigt dann weiter, daß die handwerklich-technische Basis der Mechanik und das darauf fußende Verständnis von ihrem methodischen Aufbau zugunsten einer "Metaphysik der Natur" verdrängt wird, die nun zugleich auch das methodische Verständnis der Mechanik nachhaltig verunklart.

3) JANICH 1973 hat in seiner Antrittsvorlesung alle einschlägigen Argumente dieser Art zusammengestellt und zusammenhängend vorgetragen und gewürdigt.

Verständnis der Physik als Naturwissenschaft letztlich unverstündlich bleiben und einfach hingenommen werden müssen⁴⁾. Einer solchen Kritik gehen wir in dieser Arbeit nach, was den einen der zwei erwähnten Stränge kritischer Auseinandersetzung mit gegenläufigen Auffassungen ausmacht.

Dazu werden immer wieder anhand von Argumentationen aus einschlägigen Mechaniklehrbüchern Schwierigkeiten, Widersprüche, dogmatische Behauptungen usw. bei der "Herleitung" der "Grundprinzipien" der klassischen Mechanik aufgezeigt, die verschwinden, wenn man die Mechanik konsequent als technikorientierte Theorie faßt.

Eine letzte Kritik am gängigen Verständnis der Mechanik und darüber hinaus der übrigen Teile der Physik als Naturwissenschaft soll eigens hervorgehoben werden, da sie die aktuelle Dringlichkeit beleuchtet, die Physik auch im Selbstverständnis der Physiker auf neue Zwecke hin zu orientieren. Angesichts der ökologischen Krise, der technisch-industriellen Ausplünderung der Natur, wird eine Kritik am Verständnis der "Naturwissenschaften" dringlich, die aufzeigt, in welcher Weise die sogenannten Naturwissenschaften ein Verhältnis des Menschen zur Natur mit konstituiert haben und weiterhin affirmieren, das seine selbstmörderischen Konsequenzen immer unverhohlener zutage treten läßt.

4) Methodisch zu begründende und auch begründbare Eigenschaften einer Theorie nur konstatierend hinzunehmen, ist kennzeichnend für den besonders unter analytischen Wissenschaftstheoretikern verbreiteten "realistischen" Zugang zu Theorien. Diese werden als "vorfindbare" und fertige Gegenstände (z.B. in ihrer Lehrbuchdarstellung) betrachtet, nicht aber als das Ergebnis zweckgerichteter Bemühungen von Menschen zur Wissensbildung auf Zwecksetzungen bezogen und dadurch allererst verstanden. Häufig anzutreffen ist auch das Vorgehen, methodisch begründete Eigenschaften einer Theorie zu ontologisieren, d.h. sie als Eigenschaften des Gegenstandsbereichs, über den in der Theorie ein Wissen gebildet wird, umzudeuten.

Läßt sich zeigen, daß die Physik viel eher als Technikwissenschaft denn als Naturwissenschaft zu verstehen ist, so wird zunächst einmal die Mitverantwortlichkeit der institutionalisierten "Natur"wissenschaften am ökologischen Desaster greifbar: was sich neutralistisch als "beschreibende und erklärende Naturerkenntnis" geriert, ist in Wahrheit technischer Eingriff und Beherrschung der Natur, speziell stellt das Experiment als zentrales Erkenntnismittel der "Natur"wissenschaften einen stilisierten technischen Eingriff in die Natur unter dem Zweck ihrer technischen Beherrschung dar.

Die Natur wird dabei degradiert und reduziert auf ein als unerschöpflich angesehenes Reservoir an Materialien und Vorgängen, die zur Verfügbarkeit beliebiger menschlicher Zwecke verändert und manipuliert werden, so daß eine Techniksphäre neben der natürlichen Ökosphäre entsteht.

Potentiell gravierend an den technischen Eingriffen, auf die der Bereich der Technik aufbaut, ist besonders, daß hier Verläufe gegeneinander isoliert werden und damit die Gefahr besteht, die komplexen Wechselwirkungen ineinandergreifender natürlicher Verläufe (Kreisläufe), durch die ökologisch notwendige Gleichgewichtszustände aufrechterhalten werden, außer Kraft zu setzen.

Versteht man die Physik als Technikwissenschaft, so wird damit aber auch der Anspruch der Physik, den Zugang zu der Natur wissenschaftlich zu vermitteln, zurückgewiesen: der Gegenstandsbereich der Physik ist die Techniksphäre, die der Mensch in eigenverantwortlicher Tätigkeit selber erschafft. Zugleich wird dadurch Platz gemacht für ein alternatives Naturverhältnis zum etablierten wissenschaftlich-technizistischen Umgang mit der Natur. Die Ökosphäre wird von der Techniksphäre getrennt und die Erforschung der ersteren einer nun ökologisch orientierten Naturwis-

senschaft überantwortet. Eine ökologisch orientierte Naturwissenschaft wird anderen methodischen Prinzipien folgen als die technikorientierten Wissenschaften⁵⁾.

Die zuletzt gemachten Bemerkungen zur ökologischen Krise verdeutlichen, daß wir, zwar zugegebenermaßen unter gesellschaftlich-politisch besonderen Verhältnissen, aber gleichwohl erst durch die "Natur"wissenschaften ermöglicht, in die Dynamik von Entwicklungen geraten sind, die sich zu einer globalen Bedrohung der Menschheit auswachsen können.

-
- 5) Die naturphilosophische und wissenschaftstheoretische Reflexion der ökologischen Krise steht leider noch ganz am Anfang. Zur Methode einer ökologisch orientierten Naturwissenschaft sei andeutend nur so viel gesagt: Eine ökologisch orientierte Naturwissenschaft erforscht Naturverläufe, von denen wir abhängig sind, wollen wir überleben, die von uns jedoch nur begrenzt geplant und verändert werden können. Dabei steht im Mittelpunkt die Erforschung gewisser Gleichgewichtszustände, die als teleologische Zielfunktionen durch Kreisläufe wechselseitig aufeinander wirkender Naturverläufe reproduziert und erhalten werden. Menschliche Handlungsmöglichkeiten werden unter dem Aspekt thematisiert, inwieweit durch sie schädigend und störend in solche Naturkreisläufe eingegriffen wird. Die erkenntnisgewinnenden Operationen dürfen die "natürlichen Verläufe" nur minimal verändern, Beobachtungen bekommen einen zentralen Platz. Ziel der ökologisch orientierten Naturwissenschaften muß sein, das Wissen über die natürlichen Gleichgewichtszustände und ihre Bewahrung so zu vertiefen, daß sich der Mensch mit der von ihm geschaffenen kulturellen Umwelt einschließlich der Technik, der "zweiten Natur" in die ökologisch definierte Ordnung der "ersten" Natur in verantwortlicher Weise einzupassen vermag, so daß auch die Natur eine evolutionäre Weiterentwicklung durchmacht, die die ökologische Vielfalt und damit Stabilität erhöht. (Die unterstrichenen Begriffe kann man als die Schlüsselbegriffe einer noch ausstehenden wissenschaftstheoretischen Rekonstruktion der ökologisch orientierten Naturwissenschaften betrachten)

Angesichts dieser Entwicklungen sind kritische Fragen zu stellen. Sind die gegenwärtigen Wissenschaftsinstitutionen überhaupt in der Lage, die auf sie zukommenden Aufgaben zu meistern? Bedarf es nicht einer tiefgreifenden Umorientierung in den Zielsetzungen und Forschungsprioritäten der institutionalisierten Wissenschaften? Läßt diese Umorientierung den Bestand an etablierten methodologischen Normen unangetastet?

Fragen wie die zuletzt gestellte müßten eigentlich die Wissenschaftstheorie mit ausgearbeiteten Vorschlägen auf den Plan rufen. Wer jedoch solche Erwartungen an die etablierte, sogenannte analytische Wissenschaftstheorie⁶⁾ knüpft,

-
- 6) Unter der analytischen Wissenschaftstheorie verstehen wir in diesem Kontext den aus dem Wiener Kreis hervorgegangenen Logischen Empirismus (CARNAP, FEIGL, HEMPEL u.a.) sowie den Kritischen Rationalismus der POPPER-Schule. In Deutschland gibt es inzwischen mit STEGMÜLLERs "Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie" ein Standardkompendium der analytisch orientierten Richtungen der Wissenschaftstheorie, auf das auch wir uns wesentlich beziehen werden, wenn wir etwas als Position der analytischen Wissenschaftstheorie belegen wollen. - Es könnte jemandem vielleicht das Bedenken kommen, es würde hier allzu pauschalisierend von der analytischen Wissenschaftstheorie als einem monolithischen Block einheitlicher Auffassungen gesprochen. Sicher: die Geschichte der analytischen Wissenschaftstheorie ist bis auf den heutigen Tag durchaus auch geprägt durch Kontroversen und Polemiken - erinnert sei an die Auseinandersetzungen innerhalb des Wiener Kreises, die z.B. KRAFT 1968 dokumentiert hat, innerhalb der POPPER-Schule, die SPINNER 1974 dargestellt hat, oder an die Kontroverse zwischen CARNAPianern und POPPERianern. Aber kontrastiert man die nicht immer miteinander kompatiblen Positionen von Vertretern der analytischen Wissenschaftstheorie mit den Beiträgen der konstruktiv orientierten Wissenschaftstheorie, dann rücken dazu im Vergleich die Meinungen der Analytiker wieder enger zusammen und geben deutlich einen verbindenden Kern gemeinsamer Grundauffassungen preis, so daß es gerechtfertigt ist, sie unter dem Titel "Analytische Wissenschaftstheorie" zusammenzufassen.

wird nur zu bald enttäuscht. Das Unvermögen der analytischen Wissenschaftstheorie auf solche Fragen eine Antwort erteilen zu können, entschleiern ihr Defizit an kritischer Reflexion gegenüber dem herrschenden Wissenschaftsbetrieb⁷⁾.

Ja mehr noch läßt sich dazu sagen: War unter den historisch gegebenen Bedingungen die Entwicklung und Durchsetzung der Naturwissenschaften auch ein Stück gelungener Aufklärung, so greifen in der explizierenden methodologischen Reflexion der Naturwissenschaften durch die analytische Wissenschaftstheorie jetzt eher gegenaufklärerische Kräfte Platz, denen das Paradigma der Naturwissenschaften zur willkommenen Berufungsinstanz wird. Das ist als Szientismus schon des öfte-

-
- 7) Die analytische Wissenschaftstheorie bezieht sich deskriptiv-affirmativ auf den faktischen Wissenschaftsbetrieb: Sie sucht die methodischen Normen, die vor allem in den Disziplinen der Mathematik und den mathematisierten Naturwissenschaften von den Wissenschaftlern faktisch befolgt werden, zu ermitteln und attestiert dann den Fachwissenschaftlern korrektes Vorgehen im Prinzip; vgl. STEGMÜLLER 1973, S. 9. Der Rahmen möglicher wissenschaftstheoretischer Kritik an den Einzelwissenschaften ist für die Analytiker durch Prinzipien einer formalen Definitionslehre und die Regeln der klassischen Logik so eng gesteckt, daß jede wissenschaftstheoretische Alternative, die die Mittel ihrer Kritik nicht unkritisch wiederum den etablierten formalen Disziplinen Logik und Mathematik entnimmt, in das Abseits einer "metascience of sciencefiction" gestellt wird; vgl. STEGMÜLLER 1973, S. 26. Genau genommen kennt die analytische Wissenschaftstheorie nur zwei kritische Einwände gegen eine faktisch etablierte wissenschaftliche Theorie: Definitionszirkel in ihrem Begriffssystem und logische Widersprüche in ihrem Satzbestand.

ren kritisiert worden⁸⁾.

Der Szientismus erhebt die Vorgehensweise der etablierten Naturwissenschaften zur allgemeinverbindlichen wissenschaftlichen Vorgehensweise überhaupt. Er verpflichtet damit insbesondere die Kulturwissenschaften auf die Methoden der sogenannten Naturwissenschaften. Es ist daher ein wichtiges Stück gelungener Szientismuskritik, wenn man den Szientismus sozusagen auf seinem ureigensten "Felde schlagen" kann, indem man nämlich zeigt, daß die dem Szientismus zugrundeliegende analytische Wissenschaftstheorie der "Natur"wissenschaften noch nicht einmal eine überzeugende Rekonstruktion einer so paradigmatischen Wissenschaft wie der Mechanik zu geben vermag.

Deshalb werden wir uns ausführlicher mit den wissenschaftstheoretischen Analysen zur Mechanik und Physik beschäftigen, die von Vertretern der analytischen Wissenschaftstheorie vorgelegt worden sind. Das ist der andere der beiden besagten Stränge kritischer Diskussion alternativer Auffassungen zur Mechanik.

Warum wir eine Rekonstruktion am Beispiel der klassischen Partikelmechanik vornehmen, ist leicht zu verstehen: Die Physik darf ohne Einschränkung als prototypisches Beispiel einer "strengen Wissenschaft" anerkannt werden, durch deren

8) Zur Szientismuskritik vgl. LORENZENs Aufsatz "Szientismus versus Dialektik", u.a. erschienen in KAMBARTEL (Hrsg.) 1974, S. 34-53. - Für die Fragestellungen, die uns hier interessieren, ist am Szientismus kritisch herauszuheben, daß der in Wahrheit technikwissenschaftliche Charakter der sogenannten Naturwissenschaft wissenschaftstheoretisch bereits bei der Analyse dieser Wissenschaften verschleiert wird und dann die vom Szientismus geforderte Übertragung der naturwissenschaftlichen Methodik auf die Kulturwissenschaften dort zum undurchschauten sozialtechnizistischen Ansatz wird. Dieser bleibt undurchschaut, weil der Szientismus die naturwissenschaftliche Vorgehensweise mit dem wissenschaftlichen Vorgehen überhaupt gleichsetzt. Die Alternative dazu ist, die Technikorientierung der sogenannten Naturwissenschaft methodologisch klar zu explizieren und zugleich den Geltungsbereich der Methodologie dieser Wissenschaften einzuschränken.

angemessene Rekonstruktion sich eine Wissenschaftstheorie als ein sinnvolles, auf die Probleme des Wissenschaftsbetriebs und seiner Institutionen bezogenes Unternehmen bewähren kann.

Die klassische Partikelmechanik darf darüber hinaus noch einmal als eine "ausgereifte physikalische Theorie"⁹⁾ gelten, die sich einer metatheoretischen Analyse geradezu anbietet. Auch die normativ orientierte konstruktive Wissenschaftstheorie, der von Seiten der Analytiker so gerne ein gestörtes und ignorantes Verhältnis zu den "etablierten und bewährten Theorien" nachgesagt wird, leugnet keineswegs, daß es kein "besseres Vorbild einer empirischen Wissenschaft, keine vorbildlicheren empirischen Theorien als physikalische"¹⁰⁾ gibt. Nur führt die konstruktive Wissenschaftstheorie für diese Hochschätzung eben der 'faktisch' betriebenen Physik nicht nur das "Faktum ihres Siegeszugs" in der abendländischen Wissenschaftsgeschichte an, sondern versucht Gründe dafür beizubringen, die methodische Vorbildlichkeit der Physik unabhängig von den Faktizitäten wissenschaftshistorischer Entwicklungen und Meinungstrends einsichtig zu machen.

Daß sie dabei nicht umhin kann, bestimmte Momente in der Theoriebildung und metatheoretischen Reflexion der Physik zu kritisieren, ist nur Ausdruck ihrer kritischen Intentionen. Andernfalls wäre eine Wissenschaftstheorie der Physik überflüssig, man könnte den Physikbetrieb der Gegenwart

9) Vgl. STEGMÜLLER 1973a, der ausdrücklich von der klassischen Partikelmechanik als "ausgereifter physikalischer Theorie" in der Überschrift zu Kapitel VIII spricht.

10) JANICH 1976, S.

und das Selbstverständnis der Physiker belassen wie sie sind. Auf wissenschaftstheoretische Affirmation der etablierten Physik kann angesichts der Tatsache, daß die Physik nun wahrlich nicht um öffentliche Anerkennung und Förderung buhlen muß, getrost verzichtet werden.

Kapitel 1: DIE DER MECHANIK ZUGRUNDELIEGENDE ZIELSETZUNG

JANICH/KAMBARTEL/MITTELSTRASS bedauern, daß man sich zur Zeit "in den seltensten Fällen auf eine bereits geführte disziplinierte Diskussion der Zwecke einer Fachdisziplin stützen (kann)"¹⁾. Gerade die Physik bildet da keine Ausnahme. Und die analytische Wissenschaftstheorie schafft keine Abhilfe, da sie die Diskussion von Zwecken, die einer Wissenschaft zugrundeliegen, für methodologisch irrelevant hält. Die von den drei Autoren geforderte disziplinierte Diskussion soll hier nachgeholt werden, denn damit muß eine systematische Rekonstruktion der Mechanik beginnen.

1.1. Die für die Mechanik relevante Technik

1.1.1. Technische Handlungen

Obwohl der Begriff der technischen Handlung auf den ersten Blick keine Probleme aufzugeben scheint, wollen wir ihn doch ausdrücklich explizieren; und zwar weil er zentral ist für eine technikorientierte Rekonstruktion der Mechanik, in den wissenschaftstheoretischen Analysen aber diesen technischen Handlungsvollzügen bisher kaum die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt wurde.²⁾

1) JANICH/KAMBARTEL/MITTELSTRASS 1974, S. 26

2) Eine Ausnahme unter den Wissenschaftstheoretikern stellt DINGLER mit seinen Untersuchungen zum Experiment dar. MITTELSTRASS hat auf die wissenschaftstheoretische Bedeutung handlungstheoretischer Analysen hingewiesen. Er bezeichnet die theoretische Analyse von Herstellungspraxen als Poiesistheorie: "Gegenüber den Begründungsproblemen einer empirisch-physikalischen Theorie hat dann die Poiesistheorie denselben methodischen Status wie die Prädikationstheorie"; MITTELSTRASS 1974, S. 81.

Fast ein jeder von uns kann zwei Körper so aneinanderlegen, daß sie sich an bestimmten Stellen berühren, kann Körper mit Farbe bemalen, kann Körper werfen, kann ein Streichholz anzünden, ein Loch graben, Blumen begießen, einen Nagel in die Wand schlagen. Zwar nicht jeder, aber immer noch ausreichend viele Personen in einer Gesellschaft können eine Wasserleitung legen, eine Zündkerze auswechseln, auf einer Töpferscheibe aus Ton eine Vase formen, einen großen Baum fällen, eine Wand mauern. All dies sind Beispiele für technische Handlungen. Einige sind recht elementar, andere bedürfen einer mehr oder weniger langen Übung.

Wenn überhaupt, dann erlernen wir solche technischen Handlungen stets nur dadurch, daß ein anderer sie uns wiederholt vormacht und wir sie ihm wiederholt nachmachen, bis wir eine Fertigkeit erreicht haben, die die Anwesenheit eines "Lehrmeisters" nicht mehr erforderlich macht. Die Prädikatoren für technische Handlungen erlernen wir daher exemplarisch-operativ: die Handlungen werden vorgemacht und darauf wird bei der Einführung der Prädikatoren entsprechend verwiesen. Zusammen mit den technischen Handlungen erlernen wir auch, die Wirkungen, auf die es ankommt, zu unterscheiden und entsprechend zu präzisieren: wir lernen, daß, fällen wir einen Baum, er dann umstürzt und auf dem Boden liegenbleibt, daß, zünden wir ein Streichholz an, es hernach brennt, daß, schlagen wir einen Nagel in die Wand, er darin stecken bleibt.

Technische Handlungen auszuführen, ist selbst in elementaren Fällen noch eine vergleichsweise komplexe Praxis, was nicht zuletzt darin zum Ausdruck kommt, daß zusammen mit dem Erlernen des Prädikators für eine technische Handlung weitere sprachlichen Unterscheidungen eingeübt werden und zwischen den zusammen eingeführten Prädikatoren, die sich auf denselben technischen Handlungsvollzug beziehen, ter-

minologische Regeln vereinbart werden. Die angesprochene Komplexität technischer Handlungsvollzüge wollen wir etwas genauer kennzeichnen.

Sozusagen der Kern einer technischen Handlung sind die Bewegungen, die eine Person bei einer Ausführung mit ihrem eigenen menschlichen Leib und seinen Teilen (Hände!) vollführt. Zu technischen Handlungen gehören immer solche typischen Bewegungsverläufe: man denke etwa an die Bewegungen eines Töpfers mit seinen Händen, an die Handbewegungen beim Einschlagen eines Nagels oder an die Körperbewegungen, wenn wir einen Körper vor uns herschieben. Eine erste Regel für den Prädikator "technische Handlung" besagt, daß wir nur dann davon reden, daß jemand technisch handelt, wenn der Betreffende sich auf die typische Weise bewegt.

Jemand beherrscht eine Handlung, wenn er vornehmlich die zu ihr gehörenden, charakteristischen Körperbewegungen auszuführen versteht. Technische Handlungskompetenz schließt wesentlich das Vermögen ein, bestimmte Bewegungsschemata jeweils aktualisieren zu können.

Werden eine technische Handlung und der sie unterscheidende Prädikator erlernt, so werden i.a. nicht Prädikatoren speziell zur Unterscheidung der entsprechenden Bewegungsabläufe eingeführt. Der Bewegungsablauf, den wir mittels eines Prädikators als Ausführung einer technischen Handlung präzisieren, kann ziemlich komplex sein, trotzdem beherrschen wir ihn nach entsprechender Übung als Handlungsschema, ohne daß wir dazu das komplexe Handlungsschema unbedingt weiter in sprachlich unterschiedene Teilschemata auflösen müßten. Der Prädikator "Baum fällen" wird von einem vergleichsweise komplexen Handlungsvollzug präzisiert, aber wird in seinem Gebrauch kaum dadurch verlässlicher, daß wir ihn explizit definieren durch Prädikatoren für einfache und kurze Bewegungen des menschlichen Körpers.

Es verbietet sich auch jede Art einer ontologisierenden Handlungstheorie, die alle Handlungen aus einfachsten "Grundbewegungen" des menschlichen Körpers zusammensetzt. Solche einfachsten, nicht weiter zerlegbaren Bewegungsschemata gibt es nicht, sie existieren nur in der Vorstellung des TAYLORismus, eines barbarischen Programms, das ganzheitliche Arbeitsvollzüge und damit die menschliche Arbeitskraft verstümmelt. Wir werden aber noch darauf zurückkommen, wie ursprünglich ganzheitlich erlernte technische Handlungen in Teilhandlungen zerlegt werden und wann dies sinnvoll ist.

Zu einer technischen Handlung aber gehört mehr als die Ausführung solcher typischen Bewegungen des menschlichen Körpers. Technische Handlungen sind darauf gerichtet, daß bestimmte Situationen eintreten: ein Streichholz soll brennen, ein Körper eine bestimmte Farbe besitzen, die Erde, in der Blumen wurzeln, soll feucht sein. Diese Situationen sollen wiederholt hergestellt werden können, indem die entsprechenden technischen Handlungen wiederholt werden. Das ist das Ziel all unserer technischen Bemühungen. Sind sie erfolgreich, dann beherrschen wir die entsprechenden Situationen technisch. Viele technische Handlungen sind darauf gerichtet, daß Körper in bestimmter Hinsicht verändert werden. Solche von uns über technische Handlungen veränderte, bearbeitete Körper sollen Erzeugnisse heißen.

In der Regel lernen wir nun zusammen mit einer technischen Handlung und dem sie unterscheidenden Prädikator auch, solche bezweckten Situationen, insbesondere Erzeugnisse und ihre Eigenschaften sprachlich zu unterscheiden. Eine weitere, ganz wichtige terminologische Regel zum Gebrauch von Prädikatoren für technische Handlungen erlaubt nur dann, solche Handlungsprädikatoren zuzusprechen, wenn die entsprechende Situation, insbesondere das Erzeugnis und die bezweckte Eigenschaft an dem Erzeugnis aufweisbar ist. Man sagt nur

dann, jemand habe ein Streichholz angezündet, wenn es hernach auch brennt, jemand habe einen Körper mit roter Farbe bemalt, wenn er dann auch rot gefärbt ist. Diese Regel wird uns in dem Kapitel über technisches Handeln und Verlaufsgesetze noch einmal genauer beschäftigen.

Oft werden bei der Ausführung technischer Handlungen Werkzeuge benutzt. Werkzeuge sind etwa ein Pinsel, ein Hammer oder ein Fischernetz. Eine Veränderung wird an ihnen durch die technische Handlung nicht bezweckt, wenn auch manchmal faktisch bewirkt. Werkzeuge können, müssen aber nicht unbedingt selber schon Erzeugnisse sein. Wieder werden im Kontext technischer Handlungen, also im Kontext eines manuell-tätigen Umgangs mit Körpern die Prädikatoren eingeführt, mit denen wir Werkzeuge unterscheiden. Es gilt dann die terminologische Regel, daß der Prädikator für eine technische Handlung nur dann prädiiziert werden darf, wenn das zur Handlungsausführung benötigte Werkzeug vorweisbar ist.

1.1.2. Die Erzeugung räumlicher Gestalten³⁾

Nach den mehr grundsätzlichen Explikationen zum allgemeinen Begriff einer technischen Handlung wenden wir uns jetzt zwei spezifischen Techniken zu, die vor jedem Aufbau der Mechanik bis zu einem bestimmten technischen Niveau bereits entwickelt werden können, ohne die die Mechanik ihrerseits aber überhaupt nicht denkbar wäre.

Wir finden um uns herum Körper vor, die von uns oder anderen noch nicht durch technische Handlungen verändert worden sind. Wir nennen sie natürliche Körper. Natürliche Körper sind gerade keine Erzeugnisse. Durch entsprechende technische Handlungen verändern wir solche natürlichen Körper zu vieler-

3) Die Darstellung dieses Abschnitts beruht wesentlich auf zwei unveröffentlichten Papieren von LORENZEN, "Eine konstruktive Theorie der Formen räumlicher Figuren" und einem kurzen Ergänzungspapier "Die Eindeutigkeit der Ebene", beide 1976.

lei Zwecken: wir transportieren sie an einen anderen Ort, wir erwärmen sie, wir zerschneiden sie, wir schleifen sie ab, wir verpacken sie, wir bemalen sie.

Nun sollen Körper sehr oft räumlich zueinander passen. Der Geigenkoffer muß zur Geige passen, Häuser müssen so gebaut sein, daß Menschen darin aufrecht stehen können, die Steine, mit denen wir das Haus bauen, sollen so aufeinanderliegen, daß möglichst wenig Öffnungen entstehen, die man dann zuschmieren muß.

Das letzte Beispiel zeigt Gründe dafür an, die Technik, Körper an bestimmten Stellen sich berühren zu lassen, zu verfeinern und zu nominieren. Wir wollen erreichen, daß zwei Körper sich nicht nur in zwei Stellen, die jeweils auf Oberflächenstücken der beiden Körper markiert sind, sondern bis auf überständige Teile in allen Stellen der ausgezeichneten Oberflächenstücke berühren.

Im Hinblick auf das Ziel, Körper unter Beibehaltung von Berührungen gegeneinander zu verschieben, wird die Handlung normiert, zwei Körper zur Berührung zu bringen. Wir wollen nur dann sagen, daß sich zwei Körper berühren (K_1 b K_2), wenn auf jedem der beiden Körper ein Oberflächenstück mit einer Stelle und einer Richtung (die durch einen Pfeil markiert werden kann) ausgezeichnet ist, und die beiden Körper sich in diesen Stellen berühren, wobei die Richtungen übereinstimmen.

Selbst eine noch wenig weit entwickelte Theorie, Körper in Berührlagen zu bringen, erlaubt doch schon, davon auszugehen, daß man zu einem Körper K_1 mit ausgezeichneter Berührstelle einen anderen Körper K_2 finden oder herstellen kann, der sich mit K_1 geeignet zur Berührung bringen läßt. Die normierte Relation "berühren" ist total, relationentheoretisch ausgedrückt. Sie ist außerdem symmetrisch.

Zwei Körper, die sich berühren und die sich außer in den ausgezeichneten Berührstellen in allen Stellen der jeweils ausgezeichneten Oberflächenstücke bis auf überständige Teile berühren, heißen in Passung (K_1 p K_2). Auch die Relation der Passung ist symmetrisch.

Paßt ein Körper K_1 zu einem Körper K_2 , so kann man K_1 einen Abdruck von K_2 nennen. Denn einen zu K_1 passenden Körper (relativ zu einer ausgezeichneten Paßfläche auf K_1) kann man z. B. dadurch herstellen, daß man K_1 in die Oberfläche eines aus einem leicht verformbaren Material bestehenden Körper K_2 eindrückt. Wird vom Abdruck K_2 des Körpers K_1 ein Abdruck K_3 hergestellt, d.h. paßt K_3 zu K_2 , dann ist K_3 eine Kopie von K_1 . Eine Kopie von einem Körper K erfüllt dieselben Passungen mit anderen Körpern, die schon das "Original" K_1 erfüllt.

Wir würden nicht von der Technik reden, von Körpern Abdrücke und Kopien herzustellen, wenn wir Kopien und Abdrücke nicht reproduzieren könnten. Das heißt: Wenn vom Körper K_1 ein Abdruck K_2 (K_1 p K_2), über diesen Abdruck eine Kopie K_3 von K_1 (K_2 p K_3) und jetzt zur Kopie K_3 von K_1 ein Abdruck K_4 (K_3 p K_4) hergestellt werden, dann soll dieser Abdruck einer Kopie zugleich Abdruck des Originals sein, d.h. K_4 soll auch zu K_1 passen. Diese Forderung an die Passung, über die die Reproduzierbarkeit von Abdrücken und Kopien sichergestellt wird, heißt schwache Transitivität⁴⁾. Sie ist eine Forderung an das Material: es muß hinreichend hart sein.

Zwei Körper nun, die zu einem dritten passen, heißen gestaltgleich. Es ist leicht beweisbar, daß gestaltgleich

4) Die schwache Transitivität der Passung ist zum ersten Mal explizit formuliert worden in einem noch unveröffentlichten Aufsatz von R. INHETVEEN: "Die Dinge des dritten Systems", in dem die Bedeutung dieser Forderung für die Grundlegung der Geometrie herausgearbeitet ist.

eine Äquivalenzrelation ist. Wir reden über die Gestalt (räumliche Gestalt) eines Körpers, wenn wir uns auf solche Aussagen über ihn beschränken, die auch dann wahr bleiben, sagen wir das, was wir in den Aussagen über den Körper behaupten, von einem zu ihm gestaltgleichen aus.

Angesichts der vielen technischen Zusammenhänge, in denen Körper zueinander passend gemacht werden müssen, ist es eine wichtige Technik, bestimmte Gestalten zu erzeugen und reproduzierbar zu machen. Es gibt nun prinzipiell zwei Möglichkeiten, Gestalten zu erzeugen. Und diese beiden Möglichkeiten sind für viele der nachfolgenden Probleme von entscheidender Wichtigkeit. Die eine Möglichkeit besteht darin, über Abdrücke Kopien von einem Prototyp herzustellen. Hier ist aber die Gestalterzeugung daran gebunden, daß jeweils der Prototyp oder eine Kopie verfügbar sind. Diese Art der Gestalterzeugung kommt nicht ohne Bezug auf ein nur "empirisch" vorhandenes Körperindividuum aus.

Bei der anderen Möglichkeit, Gestalten zu erzeugen und zu reproduzieren, macht man sich von der Beschränkung frei, jeweils ein bestimmtes Körperindividuum oder zumindest eine Kopie von ihm zur Hand zu haben. Das gelingt dadurch, daß auf der Basis der aus der oben dargestellten Handwerkspraxis stammenden Unterscheidungen Gestalten nominatorenfrei definiert werden. Solche durch Definitionen eindeutig bestimmte Gestalten heißen (räumliche) Formen. Wir werden im nächsten Kapitel sehen, daß die Geometrie zu rekonstruieren ist als Theorie der räumlichen Formen⁵⁾. Alle geometrischen Sätze sind logische Implikate der Definitionen von Formen.

Formen müssen nicht dadurch hergestellt werden, daß man Kopien eines Prototyps über die Abdrucktechnik herstellt, son-

5) Das klare Verständnis von räumlichen Formen als dem Gegenstand der Geometrie ist der Fortschritt, den die in Fußnote 3) erwähnten Papiere von LORENZEN gegenüber der bisherigen, konstruktiv orientierten Grundlagendiskussion zur Geometrie gebracht haben.

dern dadurch, daß man einen Körper so bearbeitet und verändert, daß die Definiensaussage der entsprechenden Formendefinition von ihm wahr gemacht wird. Im Definiens wird aber nicht Bezug genommen auf ein konkretes Körper-individuum.

Die Definition von Formen bringt einen weiteren entscheidenden Fortschritt mit sich: bisher konnte man über Passungen letztlich nur etwas erfahren, indem man zwei Körper miteinander zur Berührung brachte. Auch bei der Abdrucktechnik müssen ja Berührungen und Passungen tatsächlich herbeigeführt werden. Jetzt kann aber schon etwas über Passungen logisch gefolgert werden aus den Definitionen der Formen. Von zwei Körpern, die sich an verschiedenen Orten befinden können und die wir beide so bearbeitet haben, daß sie Formen realisieren, können wir a priori wissen, ob sie zueinander passen oder nicht, auch wenn wir sie nicht transportieren und unmittelbar zur Berührung bringen. Damit werden Gestaltvergleiche ohne räumliche Transporte möglich. Unabhängigkeit der Gestalterzeugung von Prototypen und von räumlichen Transporten ist der technische Sinn, der hinter einer Theorie räumlicher Formen steht.

1.1.3. Die Reproduktion von Gangverhältnissen zwischen Verläufen

Um uns herum spielen sich vielerlei Veränderungen ab. Neben den natürlichen Veränderungen bewirken wir vor allem ständig selber über technische Handlungen Veränderungen. "Eine Situation S_1 hat sich dann in eine Situation S_2 verändert, wenn in der Situationsdarstellung für S_2 wenigstens einer der Sätze, durch die S_1 dargestellt wird, negiert ist - wobei unterstellt ist, daß von den gleichen Gegenständen in den Situationsdarstellungen S_1 und S_2 Behauptungen aufgestellt bzw., daß

die gleichen Nominatoren in den verglichenen Darstellungen benutzt werden."⁶⁾ Von einem Verlauf wollen wir dann reden, wenn relativ zu einem Körper K nacheinander verschiedene Situationen $S_1(K), S_2(K), \dots, S_n(K)$ eintreten, wobei S_{i+1} eine Veränderung von S_i ist. Die verschiedenen S_i nennen wir Stellungen aus dem Verlauf. Ein stetiger Verlauf liegt vor, wenn es erstens eine ausgezeichnete Anfangsstellung $S_a(K)$ und eine ausgezeichnete Endstellung $S_e(K)$ gibt und wenn es zweitens eine Regel R gibt, die angewendet auf zwei aufeinander folgende Stellungen aus dem Verlauf, die Beschreibung einer weiteren Stellung liefert, die zwischen den beiden Stellungen zeitlich liegt.

Beispiele für Verläufe sind: eine Person pflügt ein Feld, jemand schlägt einen Nagel in die Wand, ein Apfel fällt vom Baum, wir atmen, eine Lösung verfärbt sich, ein Körper trocknet unter Sonneneinstrahlung ab. Gegenbeispiele für Verläufe sind: ein Buch liegt auf einem Tisch, ein Körper hat ein bestimmtes Gewicht, ein Glas ist zerbrochen, $2+2 = 4$.

Festzustellen, daß die Stellungen aus einem Verlauf nacheinander eintreffen, setzt in keiner Weise irgendeine Zeitmessung voraus. Eine solche vormetrische, komparative Ordnung von Ereignissen nach ihrem Nacheinandereintreten lernen wir exemplarisch: z.B. daran, erst eine Handlung, dann eine zweite auszuführen⁷⁾.

Für unsere Überlegungen zur Technik sind nicht einmalige Verläufe $S_1(K), \dots, S_e(K)$ von Interesse, sondern solche, die sich wiederholen lassen. Ein konkreter Verlauf $S_a(K), \dots, S_e(K)$ wird wiederholt, indem nochmals der Körper K oder

6) LORENZEN/SCHWEMMER 1975, S. 171, Hervorh. im Original

7) Zum vormetrischen Zeitvergleich siehe LORENZEN/SCHWEMMER 1975, S. 110 f.

ein anderer Körper K' die Stellungen in derselben zeitlichen Reihung durchlaufen. Wir werden den Terminus "Verlauf" von jetzt ab so gebrauchen, daß zwei konkrete Verläufe $S_a(K), \dots, S_e(K)$ und $S_a(K'), \dots, S_e(K')$ Realisierungen (oder Reproduktionen) desselben Verlaufs genannt werden. Verläufe sind per definitionem durch verschiedene Realisierungen reproduzierbar.

Für viele technische Zwecke kommt es nun darauf an, daß zwei konkrete Verläufe so aufeinander abgestimmt sind, daß für gewisse Stellungen aus den zwei Verläufen gilt, daß eine Stellung aus dem einen konkreten Verlauf früher eintritt als eine gewisse Stellung aus dem anderen bzw. eine gewisse Stellung aus dem einen konkreten Verlauf gleichzeitig mit einer Stellung aus dem anderen eintritt. Hinsichtlich zeitlicher Abstimmungen für gewisse Stellungen aus zwei konkreten Verläufen wird ein Gangverhältnis zwischen den beiden festgelegt. Ein Gangverhältnis wird dadurch beschrieben, daß angegeben wird, welche Stellung aus dem einen Verlauf vor welcher Stellung aus dem anderen zeitlich erreicht sein muß bzw. welche Stellungen zugleich eintreffen sollen.

Wer ein Gericht aus Kartoffeln und Fleisch kocht, der wird dafür sorgen, daß Kartoffeln und Fleisch (in verschiedenen Töpfen) jeweils gleichzeitig gar werden. Außerdem wird er dazu u.U. das Fleisch eher aufsetzen als die Kartoffeln. Das ist ein ganz alltägliches Beispiel für ein technisch erforderliches Gangverhältnis zwischen zwei Verläufen. Wenn zwei Menschen nebeneinander gehen und sich dabei unterhalten, so ist es zum Zweck der Verständigung erforderlich, daß der eine nicht dem anderen davoneilt. Hier haben wir ein Gangverhältnis zwischen zwei Bewegungen vor uns.

Auch um festzustellen, ob zwei Ereignisse zugleich eintreten, muß man noch nicht Dauern messen können. Aller-

dings können zunächst Verläufe nur hinsichtlich solcher Stellungen gleichzeitig gemacht werden, die jeweils an demselben Ort sich ereignen.

Schon das Beispiel des Kochens zeigt, daß Verläufe nicht einfach wiederholt werden müssen, sondern in vielen Fällen ein bestimmtes Gangverhältnis zwischen den Verläufen mit reproduziert werden soll: man realisiert zwei Verläufe zugleich (abgesehen von zeitlichen Verzögerungen des Beginns, die durch das Gangverhältnis bestimmt sind), wobei die Realisierungen der beiden Verläufe ein vorherbestimmtes Gangverhältnis haben sollen.

Ein besonderes Gangverhältnis liegt vor, wenn zwei Realisierungen desselben Verlaufs ganggleich sind. Beginnen zwei Realisierungen $S_a(K), \dots, S_e(K)$ und $S_a(K'), \dots, S_e(K')$ desselben Verlaufs V zugleich und treten alle entsprechenden Stellungen $S(K)$ und $S(K')$ jeweils zugleich ein, so nennen wir die beiden Realisierungen ganggleich. Die beiden Realisierungen sollen dabei (kausal) unabhängig voneinander ablaufen: unterbricht man die eine Realisierung, so geht die andere ungestört weiter.

Beherrschen wir technisch einen Verlauf so, daß bei allen Wiederholungen je zwei Realisierungen des Verlaufs, wenn sie gleichzeitig beginnen, ganggleich sind, so soll ein solcher Verlauf kopierbar heißen. Kopierbarkeit ist die strengste Form technischer Reproduktion von Verläufen.

Es ist wichtig, sich klar zu machen, daß man immer nur das Gangverhältnis zwischen den jeweiligen Realisierungen zweier Verläufe reproduzieren kann: man läßt jeweils zwei Realisierungen der Verläufe zugleich ablaufen und diese konkreten Verläufe haben dann das gewünschte Gangverhältnis. Dagegen macht es keinen Sinn, von einem Gangverhältnis zwischen zwei konkreten Realisierungen von Verläufen zu reden, die nicht wenigstens hinsichtlich je einer Stellung zugleich ablaufen (abgesehen von dem trivialen Gangverhältnis, daß

der eine Verlauf dem anderen zeitlich ganz vorausgeht.)). Insbesondere ist es sinnlos von der Ganggleichheit zweier konkreter Verläufe zu reden, die zeitlich nacheinander sich abspielen. Ganggleich von zwei Verläufen bedeutet immer: zwei zugleich beginnende Realisierungen der beiden Verläufe sind stets ganggleich.

Es gibt nun zwei Möglichkeiten, Gangverhältnisse zwischen Verläufen reproduzierbar zu erzeugen. Bei der ersten Möglichkeit greift man auf zwei prototypische konkrete Verläufe und ihr Gangverhältnis zurück und versucht, die beiden Verläufe so kopierbar zu machen, daß auch ihr Gangverhältnis bei allen wiederholenden Realisierungen sich wieder herstellt.

Bei der zweiten Möglichkeit wird der Weg eingeschlagen, dem wir schon bei den räumlichen Formen begegnet sind. Es wird ein Verlauf nominatornfrei und formal definiert. Nominatornfrei heißt: im Definiens der Definition wird kein konkreter Körper erwähnt, für den Stellungen festgelegt werden. Formal heißt: im Definiens kommen keine schematischen Situationsbeschreibungen $S(x)$ mit bestimmten Prädikatoren als Beschreibungen von Stellungen des zu definierenden Verlaufs vor, sondern es wird nur davon Gebrauch gemacht, daß sich überhaupt verschiedene Stellungen unterscheiden lassen, daß diese Stellungen reproduzierbar sind und daß sich zwischen verschiedenen Stellungen und den Stellungen von Reproduktionen Relationen der Art "früher als", "gleichzeitig" und "ganggleich" festlegen lassen. Zwei unabhängige Realisierungen des so definierten Verlaufs, d.h. zwei konkrete Verläufe, die beide das Definiens der Verlaufsdefinition erfüllen, haben ein bestimmtes Gangverhältnis, das schon aus der Definition logisch folgt. Einen so definierten Verlauf nennen wir eine Verlaufsform. Die Theorie der Verlaufsformen ist die Chronometrie.

Wieder ist zunächst der technische Sinn, der hinter der Chronometrie, der Theorie der Verlaufsformen steht, das Bestreben, bei der Reproduktion von Gangverhältnissen und damit bei der geeigneten Koordinierung von Verläufen davon unabhängig zu werden, jeweils konkrete prototypische Verläufe zur Verfügung zu haben.

1.2. Die Bildung technischen Wissens über die technische Beherrschung von Bewegungsformen als Zweck der Mechanik

Der Gegenstandsbereich der Mechanik sind Bewegungen. "Bewegen" wird exemplarisch gelernt, und zwar im Kontext der alltagsweltlichen Praxis, beim Handeln den eigenen Leib und dann auch andere Körper selber zu bewegen. "Bewegen" ist ein zweistelliger Prädikator: ein Körper K bewegt sich bezüglich eines Körpers K' . Was sich bei einer Bewegung verändert ist die relative räumliche Lage der beiden Körper zueinander. Wie diese Lageveränderung beschrieben wird, werden wir erst im nächsten Kapitel diskutieren. Hier nur ein einfaches Beispiel, eine Lageveränderung und damit Bewegung festzustellen und zu beschreiben: zunächst berühren sich zwei Körper, dann wird der andere so verschoben, daß die Berührlage aufgehoben ist.

Mit dem Prädikator "bewegen" erlernen wir zugleich, solche Bewegungen, die wir selber hervorgerufen haben zu unterscheiden von solchen Bewegungen, an denen wir nicht handelnd beteiligt sind. Die letzteren nennen wir natürliche Bewegungen. Die Mechanik hat es als technikorientierte Theorie erst einmal nicht mit natürlichen, sondern mit über technische Handlungen erzeugten Bewegungen zu tun.

Wenn sich ein Körper von einem Ort zu einem anderen fortbewegt, so hat er eine Bahn. Eine solche Bahn kann man in vielen Fällen sichtbar machen: der Körper bleibt mit der Oberfläche eines anderen Körpers in Berührung während der Bewegung und hinterläßt dort eine Spur. In anderen Fällen

wird die Bahn von uns vor Beginn der Bewegung mit anderen Körpern hergestellt, etwa wenn wir eine Leitschiene bauen.

Es gibt so viele Gründe, warum wir Körper bewegen wollen, und diese Gründe sind wohl jedem gegenwärtig, daß wir uns ersparen können, hier einzelne aufzuzählen. Daß Bewegungen sehr oft kein Selbstzweck sind, das ist für ein Verständnis der Mechanik wichtig: in der Regel sind mit Bewegungen Wirkungen verbunden, auf die es uns eigentlich ankommt. Der bloße räumliche Transport von Körpern hat meistens den Zweck, daß die Körper dadurch an einem Ort zur Verfügung stehen, wo sie weiter bearbeitet oder irgendwie anders genutzt werden können. In anderen Fällen ist mit dem Bewegungsverlauf selber eine Wirkung verbunden, an der wir eigentlich interessiert sind: man will z.B. durch Bewegungen Wärme oder Strom erzeugen oder an anderen Körpern eine Bewegung allererst hervorrufen (Antriebsmaschinen).

An Bewegungen, die wir erzeugen wollen, können unterschiedlich strenge Anforderungen gerichtet sein. Manchmal wird nur verlangt, daß ein Körper zu einem festen Ort gebracht wird, die Bahn, die er dabei nimmt, spielt dagegen keine Rolle. In anderen Fällen muß der Körper eine vorgegebene Bahn genau einhalten. Oft muß auch noch gesichert sein, daß die Bewegung in einem bestimmten Gangverhältnis zu einem anderen konkreten Verlauf steht.

Bahn und Gangverhältnis sind die beiden Momente, durch die einer Bewegung einschränkende Bedingungen auferlegt werden können. Ersichtlich muß man bei einer methodischen Rekonstruktion des Wissens, das benötigt wird, um Bewegungen zu erzeugen, von dem Fall ausgehen, daß sowohl die Bahn als auch ein Gangverhältnis eindeutig festgelegt sind. Solche zu erzeugenden Bewegungen, bei denen vorher die Bahn und ein Gangverhältnis eindeutig festgesetzt sind, sollen vollständig bestimmte Bewegungen heißen.

Vorläufig können wir daher das Ziel der Mechanik so formulieren: in der Mechanik soll ein Wissen darüber gebildet werden, mit welchen technischen Handlungen wir vollständig bestimmte Bewegungen reproduzierbar bewirken können.

Ist $B(K_1, K_2)$ eine vollständig bestimmte konkrete Bewegung des Körpers K_1 relativ zum Körper K_2 , so soll diese Bewegung reproduzierbar sein und nur als eine solche reproduzierbare Bewegung wird in der Mechanik über sie ein Wissen gebildet. Als Gegenstand der Mechanik werden die Bewegungen daher schematisch beschrieben durch " $B(K, K')$ ", wobei für die schematischen Buchstaben " K " und " K' " Eigenamen oder Kennzeichnungen für konkrete materielle Körper eingesetzt werden dürfen. $B(K, K')$ wird also durch die Bewegungen konkreter materieller Körper realisiert.

Als vollständig bestimmte Bewegungen stimmen alle Realisierungen von $B(K, K')$ in bestimmten Eigenschaften der Bahn und des Gangverhältnisses überein. Dieselbe Bahn müssen zwei Realisierungen nicht haben, wollen wir doch "dieselbe" Bewegung an verschiedenen Orten bewirken. Die Bahnen zweier Realisierungen von $B(K, K')$ aber sollen gestaltgleich (und darüber hinaus größengleich, siehe das nächste Kapitel) sein. Und alle Realisierungen von $B(K, K')$ haben das gleiche Gangverhältnis zu einem vorgegebenen Verlauf V (oder genauer: zu Realisierungen des Verlaufs V).

In der Mechanik ist also eine Bewegung schon hinreichend beschrieben, wenn die Gestalt der Bahn und das Gangverhältnis zu einem bestimmten Verlauf eindeutig festgelegt sind.

Wird nun die Gestalt der Bahn als (geometrische) Form und das Gangverhältnis relativ zu einer Verlaufsform bestimmt, so stellt die entsprechend beschriebene (schematische) Bewegung $B(K, K')$ eine Bewegungsform dar.

Es gehört zum methodischen Ansatz der Mechanik, alle Bewegungen, die man erzeugen will, hinsichtlich ihrer Bahn und ihres Gangverhältnisses formentheoretisch, also geometrisch-chronometrisch zu bestimmen. Dazu werden wir im nächsten Kapitel mehr sagen. Daß wir uns in der Mechanik mit Bewegungsformen beschäftigen, ist begründet aus der Zielsetzung, vollständig bestimmte Bewegungen wiederholbar zu machen.

Wir können unsere Überlegungen zur Zielsetzung der Mechanik mit folgendem Ergebnis vorläufig abschließen: in der Mechanik soll ein Wissen darüber gebildet werden, mit welchen technischen Handlungen Bewegungsformen realisiert werden können.

1.3. Die Mechanik als technikorientierte Theorie und als Naturwissenschaft

Daß wir in der Mechanik selbst erzeugte Bewegungen und nicht natürliche theoretisch analysieren, diese Behauptung wird vermutlich befremden und auf Widerspruch stoßen, widerspricht sie doch der gängigen Auffassung, die Mechanik wie die gesamte Physik überhaupt sei eine Naturwissenschaft. Dieses Physikverständnis liest sich im Vorwort eines bekannten Lehrbuchs der Physik so: "Physik bedeutet ursprünglich die Wissenschaft von der Natur überhaupt. Später wird sie als Wissenschaft von der unbelebten Natur bezeichnet. Sie wird heute als Wissenschaft von den Bewegungsformen der unbelebten Natur, die ohne stoffliche Veränderungen verlaufen, und von den Kräften und deren Eigenschaften definiert"⁸⁾. Physik, so argumentiert ein anderes Lehrbuch, erwächst aus dem Wunsch des Menschen, die Naturerscheinungen zu verstehen und auf allgemeingültige Sätze zurückzuführen. Die Trieb-

8) GRIMSEHL 1971, S. 1

feder ist sowohl der reine Erkenntnisdrang als auch die Hoffnung, sich die Natur dienstbar zu machen"⁹⁾. Hier wird die Auffassung vertreten, die auch die analytische Wissenschaftstheorie mehr oder weniger unbesehen teilt: die Physik ist reine Naturwissenschaft und die Bildung des technischen Wissens ist der "Erforschung der Natur und ihrer Kräfte" methodisch nachgeordnet, ist ein Anwendungsfall des "Wissens über die Natur".

Gegen diese Auffassung, das Verhältnis von Physik als Naturwissenschaft und als technikermöglichende Wissenschaft zu bestimmen, werden wir drei Argumente vorbringen:

- a) es gibt eine forschungspolitische Priorität der Technik als Gegenstand der Wissensbildung vor der Beschäftigung mit der reinen Natur;
- b) es läßt sich nachweisen, daß selbst die faktisch vorliegende Physik, obwohl sie dem Selbstverständnis der Physiker nach als Naturwissenschaft betrieben wird, sich besser verstehen läßt, wenn man sie als technikorientierte Wissenschaft auffaßt;
- c) es gibt einen methodologischen Primat der Technik vor der Natur als Gegenstand physikalischer Wissensbildung.

Bevor wir auf die drei Argumente im einzelnen eingehen, werden wir die Begriffe "Natur" und "Technik" zu klären haben.

Zurückzuweisen ist eine Verwendung des Begriffs der Natur, wonach der Begriff "Natur" die unabhängig vom menschlichen Erkennen und Handeln existierende "objektive Wirklichkeit der unbelebten Dinge" meint. Ein solcher Naturbegriff ist erkenntnistheoretisch. Er findet Eingang besonders in solche wissenschaftstheoretische Betrachtungen der Physik, in denen ein "realistisches" Methodenverständnis, fußend auf

9) BERGMANN/SCHÄFER 1974, S. VII

einem realistischen oder korrespondenztheoretischen Wahrheitsbegriff, zum Zuge kommt. Bei einem "realistischen" Zugang zur Physik wird diese nicht mehr als durch zweckgerichtete menschliche Handlungen geschaffene, normengeleitete und normenerfüllende kulturelle Leistung begriffen, sondern man nähert sich der Physik wie einem vorfindlichen Gegenstand, an dem man gewisse Eigenschaft beobachtet und dann beschreibt. Methodische Charakteristika der Physik werden hergeleitet aus entsprechenden Eigenschaften der "Natur" als dem Gegenstand der Physik. MITTELSTRASS¹⁰⁾ hat gezeigt, daß eine solche Auffassung jedenfalls noch nicht zu Beginn der neuzeitlichen Naturwissenschaft, etwa bei GALILEI, sich findet, sondern erst später in Form einer "Metaphysik der Natur" das Methodenverständnis und die Methodendiskussion für die Physik und die an ihr sich orientierende Wissenschaftsdiskussion überhaupt belastet.

Den oben dargelegten Einwänden ist der folgende Begriff von Natur nicht mehr ausgesetzt, wonach darunter die von Menschen nicht erzeugten und bearbeiteten Körper und die nicht durch menschliche Handlungen planmäßig hervorgerufenen Verläufe zu fassen sind. Nach diesem Vorschlag gehören die Planeten und die Planetenbewegungen zur Natur, aber eine Uhr zählt nicht dazu. Der Begriff der Natur ist

10) Vgl. MITTELSTRASS 1970, S. 309-341; in einem in Kiel gehaltenen Vortrag erläutert MITTELSTRASS die realistische Position sehr prägnant: "Hier wird die in der Galileischen Mechanik erfolgte Geometrisierung der Naturwissenschaft, d.h. der methodologische Primat einer Theorie des Messens im Rahmen der neuen Physik als eine Mathematisierung der Natur bezeichnet, und diese darüber hinaus so dargestellt, als handle es sich dabei um eine ursprüngliche Eigenschaft der Natur, der physikalischen Welt selbst"; MITTELSTRASS 1972, in HÜBNER/MENNE (Hrsg.) 1973, S. 76

konträr zum Begriff der Technik¹¹⁾.

ad a): Gerade das zuletzt genannte Beispiel der Planetenbewegungen wird immer dort angeführt, wo die Auffassung bekräftigt wird, die Physik und speziell die Mechanik sei eine Naturwissenschaft¹²⁾. Der Mechanik wird die Aufgabe zugedacht, natürliche Bewegungen natürlicher Körper zu beschreiben und vorherzusagen. Die technische Verfügung über Bewegungen wird dargestellt als ein "bloßes Abfallprodukt reiner Forschung", das systematisch nicht von Anfang an intendiert und methodisch in Rechnung gestellt werden muß.

Es lebt also das herrschende Physikverständnis von der im Ernst nicht weiter überprüften Unterstellung, daß ein Wissen, das die technische Verfügung über Verläufe orientiert, methodologisch verträglich ist mit einem prognostischen Wissen über Naturverläufe: die methodischen Normen, die zu befolgen sind, wenn ein Wissen über die technische Erzeugung von Situationen gebildet werden soll, können für die Bildung prognostischen Wissens über technisch

-
- 11) Zum Bereich der Technik gehören die technischen Handlungen und die Erzeugnisse technischen Handelns, also die bearbeiteten und erzeugten Körper und die durch Eingriffe planmäßig hervorgerufenen und in ihrem Ablauf kontrollierten Verläufe. Der Begriff der Technik ist nicht kontradiktorisch zum Begriff der Natur, da nicht alles, was nicht zur Technik zu rechnen ist, deshalb zur Natur gehört: man denke an die Musik, die sich nur der Technik (z.B. Musikinstrumente) bedient.
 - 12) Für die NEWTONsche Mechanik war der entscheidende Anwendungsfall, der die "Richtigkeit" des allgemeinen Gravitationsgesetzes glänzend zu "bestätigen" schien, die Herleitung der KEPLERSchen Gesetze über die Planetenbahnen aus der allgemeinen Gravitationsdynamik. Historisch gesehen wird das traditionelle Selbstverständnis vieler Physiker und Wissenschaftstheoretiker der Physik ideologisch überhöht durch die Auszeichnung der "Vorgänge am Sternenhimmel". Zurückgedrängt wird die methodisch unverzichtbare handwerklich-technische Komponente der neuzeitlichen Physik, die sich zu Beginn der modernen Wissenschaftsentwicklung auch im sozialen Status und im Selbstverständnis der sie tragenden Wissenschaftler manifestiert hat.

nicht verfügbare Naturverläufe übernommen werden. Das aber ist erst noch zu diskutieren¹³⁾.

Wie immer es um die Begründbarkeit der erörterten Unterstellung bestellt sein mag, es bleibt doch richtig, daß zunächst und in erster Linie die durch menschliches Handeln, durch aktives Eingreifen von Menschen bewältigbaren Probleme angegangen werden sollen und deshalb das dazu erforderliche Wissen bereitgestellt wird. Ist die Möglichkeit, aktiv in Verläufe einzugreifen oder solche allererst zu erzeugen, abhängig von einem prognostischen Wissen über technisch nicht verfügbare Naturverläufe, so ist dieses Wissen ebenfalls systematisch auszuarbeiten.

Solange beide Arten des technischen Wissens durch dieselben methodischen Anweisungen im Rahmen einer methodisch einheitlichen Gesamtheorie erreichbar sind, stellt sich kein weiteres Problem. Nur wo das nicht der Fall ist, wird es zu einer methodologisch begründeten Differenzierung im System der Wissenschaften kommen¹⁴⁾.

ad b): Das Argument b) wird uns in der ganzen Arbeit beschäftigen. Erst wenn die systematische Rekonstruktion der klassischen Mechanik abgeschlossen sein wird, wird auch die Begründung für das Argument b) eingelöst sein.

13) JANICH 1975 hat darauf aufmerksam gemacht, daß es sich bei der Alternative astronomische - "irdische" Mechanik um zwei verschiedene Zwecksetzungen handelt. Wir interpretieren das so, daß beide Zwecke nicht mit denselben Mitteln in allen Aspekten, d.h. im Fall der Wissensbildung nicht unter Anwendung derselben methodischen Prinzipien erreicht werden können. Wir werden die Frage, ob Mechanik als Technikwissenschaft und Mechanik als Naturwissenschaft methodologisch miteinander verträglich sind, in dieser Arbeit zweimal aufgreifen: bei der Erörterung des methodischen Status technikorientierter Verlaufsgesetze und der Naturgesetze sowie in einem Abschnitt über das methodische Verhältnis der technikorientierten Mechanik zur Allgemeinen Mechanik.

14) Eine solche Differenzierung im System der Wissenschaften ist z.B. die in der Einleitung erwähnte Unterscheidung von ökologisch orientierten Naturwissenschaften und den technikorientierten Disziplinen.

ad c): Die Verwendung von Meßgeräten konstituieren einen grundlegenden methodischen Primat der Technik und des technisches Handelns vor einem Befaßtsein mit "bloßer Natur" für die Physik. Die Meßgeräte gehören zu den konstitutiven Instrumenten physikalischer Wissensbildung. Da aber das Messen mit Meßgeräten wie ihre Herstellung in den Bereich der Technik fällt, steht am methodischen Anfang der Physik nicht die Natur, sondern die Technik. Bei unserer späteren Analyse zur Einführung metrischer Begriffe werden wir noch genauer studieren können, wie innerhalb der analytischen Wissenschaftstheorie die letzten Endes doch triviale Einsicht, daß Meßgeräte Artefakte sind, verlorengeht und sich die "realistische" Betrachtungsweise behauptet, die Meßgeräte als Naturgegenstände mißzuverstehen. Natürlich verträgt sich diese Statuszuschreibung der Meßgeräte besser mit der Gesamtkonzeption der Physik als Naturwissenschaft, wie sie die analytische Wissenschaftstheorie propagiert.

Der Gesichtspunkt mit den Meßgeräten könnte allerdings von einem Anhänger der Position, die Physik sei Naturwissenschaft, mit dem Hinweis übergangen werden, hier sei ja nur von den zur Technik zu zählenden "Erkenntnismitteln", nicht aber von dem "Erkenntnisgegenstand" der Physik die Rede; nur um das Letztere gehe es aber bei der These von der Physik als Naturwissenschaft.

Abgesehen davon, daß in dem Argument in unzutreffender Weise die Bedeutung der methodisch in Anspruch genommenen Erkenntnismittel bei der "Gegenstandskonstitution" der Physik heruntergespielt wird, kann schon ein weiterer, methodologisch noch keineswegs in die Tiefe führender Blick auf die Physik uns über die Unhaltbarkeit und Unangemessenheit der Auffassung, die Physik sei eine Naturwissenschaft, belehren. Dazu muß man nur die nicht zu leugnende, tragende Rolle des Experimentierens bei der Wissensbildung im Rahmen der Physik ins Auge fassen.

Denn im Experiment werden die sogenannten Ausgangsbedingungen von uns künstlich (letztlich manuell) bewirkt, und zwar gerade unabhängig davon, ob in der Natur ohne menschliche Handlungseingriffe sich solche Situationsarrangements überhaupt vorfinden. Wenn wir Physik treiben, sind wir nicht mit der unangetasteten Natur konfrontiert, sondern wir machen Aussagen über von uns planmäßig erzeugte Veränderungen über Vorläufe, an denen wir handelnd beteiligt sind. Ein angemessenes Verständnis des Experiments ist ein weiterer Grund, von der landläufigen und überaus mißverständlichen Bestimmung der Physik als Naturwissenschaft abzurücken.

Zum Abschluß unserer Überlegungen müssen wir eine Interpretation der These von der Natur als Gegenstand der Physik zur Sprache bringen, die ohne weiteres mit der primären Technikorientierung der Physik verträglich ist. Wir können uns dazu auf die wenigen Bemerkungen zum Experiment stützen.

Wenn wir auch die experimentellen Ausgangsbedingungen selber handelnd herstellen, so läuft doch dann bei einem Experiment in einem gewissen Zeitraum ein Verlauf (Veränderung) ab, wo wir nicht mehr handeln. Der Übergang von einer Stellung des Verlaufs zur nächsten wird von uns nicht mehr unmittelbar handelnd bewirkt. Ein solcher Verlauf, so können wir dann durchaus sagen, spielt sich "von Natur aus" so ab¹⁵⁾.

15) Es bleibt der Aspekt methodisch sehr bedeutsam, daß die Anfangsbedingungen von uns selber hergestellt werden, wir den Verlauf also selber auflösen und seinen Ablauf dadurch festlegen; vgl. den Abschnitt über technikorientierte Verlaufsgesetze und Naturgesetze. Mit "Natur" haben wir es nur in dem eingeschränkten Sinne auch in den technikorientierten Wissenschaften noch zu tun, daß nach Herstellung der Anfangsbedingungen etwas ohne weiteres Handeln von unserer Seite abläuft.

Schon bei der Erzeugung von Bewegungen wird das deutlich: wir können z.B. einen Körper K dadurch bewegen, daß wir eine synchrone Bewegung mit unserem eigenen Körper (Leib) ausführen, etwa wenn wir K tragen, wobei die Bewegung von K dann unmittelbar durch uns bewirkt ist; wir können K aber auch dadurch etwa bewegen, daß wir zwar zunächst mit unserem eigenen Körper eine (u.U. zu einer Bewegung von K synchrone) Bewegung ausführen, dann sich aber K ohne ein weiteres Handeln von unserer Seite weiterbewegt, etwa wenn wir K werfen. Ein durch die Luft schnellender (geworfener) Körper bewegt sich von "Natur aus" so.

Es ist nicht schwer einzusehen, daß es unser Ziel ist, Bewegungsformen so planmäßig zu realisieren, daß unser eigenes Handeln, insbesondere synchrone Bewegungen unseres eigenen Körpers dabei auf ein Minimum reduziert werden können. Und genau in diesem Sinne verfolgen wir in der Mechanik bei dem Ziel, technisches Wissen für Realisierung von Bewegungsformen zu bilden, immer auch das Ziel, natürliche, d.h. von uns nicht unmittelbar bewirkte Bewegungen, Bewegungen, wie sie in der "Natur" vorkommen, theoretisch zu erfassen. Ohne weiteres klar ist jetzt auch der Sinn der Behauptung, in der Physik würden wir Bewegungsformen in der Natur studieren, um sie für technische Zwecke uns dienstbar zu machen. Aber die methodische Ausrichtung der Physik auf das Ziel der Technikermöglichung wird dabei nicht aufgehoben.

Kapitel 2: BEWEGUNGSFORMEN ALS IDEALE KONSTRUKTIONEN

In diesem Kapitel sollen zwei Fragen beantwortet werden. Erstens, warum die Bewegungsformen ideale Konstruktionen darstellen und welche grundlegenden Eigenschaften ihnen von diesem Status her zukommen, zweitens, warum Bewegungsformen metrisch beschrieben werden durch Bahnfunktionen $r(t)$, wobei "t" ein Variable für die Zeit ist und $r(t)$ den Ortsvektor für den Ort liefert, an dem sich ein bewegender Körper zum Zeitpunkt t gerade befindet.

2.1. Die geometrisch-chronometrische Konstruktion von Bewegungsformen

2.1.1. Die geometrische Festlegung der Bahnen

Unter Geometrie wird hier die Theorie räumlicher Formen verstanden. Das sind der methodischen Reihenfolge ihrer Definierbarkeit nach die Ebene, die Orthogonalität, die Gerade, die Strecke, die Streckenkongruenz usw.¹⁾ Die Geometrie ist dabei Formentheorie, d.h.: zwei Realisierungen derselben Form müssen nicht größengleich sein. Größengleichheit wird erst über die Kongruenz zunächst für Strecken formentheoretisch definiert. Wir kommen darauf später zurück.

Wir hatten oben gesagt, daß der Gegenstand der technikorientierten Mechanik vollständig bestimmte, reproduzierbare Bewegungen sind. Eindeutig bestimmt sind die Bewegungen hinsichtlich ihrer Bahnen und eines vorgegebenen Gangverhältnisses. Die Bahn zu reproduzieren, heißt eine

1) Soweit ist der Aufbau der Geometrie in dem besagten, unveröffentlichten Manuskript von LORENZEN dargestellt; Einzelheiten siehe dort.

gestaltgleiche und größengleiche Bahn herzustellen.

Jetzt wollen wir untersuchen, warum man die Gestalt der Bahnen durch geometrische Formen festlegt. Die Vorteile formentheoretisch angeleiteter Gestalterzeugungen besteht darin, daß man in der Gestalterzeugung unabhängig wird von Prototypen und räumlichen Transporten. Auf diesen Vorteil stellen wir auch ab, wenn bei Wiederholungen von Bewegungen die Bahnen gestaltgleich sein sollen. Wir wollen deshalb Bewegungen mit gestaltgleichen Bahnen wiederholen, weil es uns darauf ankommt, bestimmte räumliche Konfigurationen zwischen den Stellungen sich bewegender Körper (z.B. Berührlagen) möglichst genau zu reproduzieren. Dafür findet man leicht viele Beispiele.

Weiß man von zwei Bahnen, daß sie dieselbe Form besitzen, d.h. beide jeweils das Definiens der Definition dieser Form erfüllen, dann steht bereits aufgrund der Definition fest, daß sie gestaltgleich sind und zu welchen anderen Gestalten oder Formen sie beide passen. Man muß keinen dritten Körper hernehmen und durch Transport jeweils an die Bahnen anlegen, um in Berührlagen Passungen zu überprüfen.

Der Vorteil, formentheoretisch die Bahnen von Bewegungen festzulegen, hat besonderes Gewicht, da die Bahn einer Bewegung oft gar kein identifizierbares und fixierbares materielles Substrat besitzt und somit nach beendeter Bewegung sowieso die Möglichkeit entfällt, die Gestaltgleichheit zweier Bahnen durch geeignete Passlagen mit materiellen Körpern nachzuweisen. Selbst wenn man die Bahnen von Bewegungen in Gestalt von Leitschienen und dergleichen materiell realisiert, bleibt der Vorteil, gestaltgleiche Leitschienen an verschiedenen Orten unabhängig voneinander zu bauen, ohne sie noch extra zueinander transportieren zu müssen.

Die Bahnen entstehen nun aufgrund von Bewegungen, also von Verläufen, wobei jede Stellung gerade eine bestimmte räumliche Lage des sich bewegenden Körpers K relativ zu einem Bezugskörper K' ist. Diese räumliche Lage verändert sich; das macht den Verlaufscharakter der Bewegung von K relativ zu K' aus. Die Form der Bahn muß sich daher ergeben und darstellen lassen aus den sich verändernden räumlichen Lagen von K zu K' .

Wie aber wird die räumliche Lage von K zu K' geeignet festgelegt und beschrieben? Man wählt die einfachste, durch zwei Körper, genauer durch zwei Stellen (jeweils auf zwei Körpern markiert) eindeutig festgelegte Form: die Strecke. Die relative räumliche Lage von K zu K' ist bestimmt und festgelegt durch die (gedachte oder materiell realisierte) Strecke zwischen K und K' und ihre Richtung.

Es ist jetzt klar, daß die Bahn und damit ihre Form analytisch beschrieben werden: durch K' legt man ein kartesisches Koordinatensystem, die Strecke zwischen K und K' und ihre Richtung werden dargestellt durch den Ortsvektor vom Koordinatenursprung zu der Stelle, wo sich K gerade befindet. Die Bahn und ihre Form werden beschrieben durch analytische Aussagen über die Ortsvektoren der zur Bewegung gehörenden Stellungen²⁾.

2.1.2. Die Festlegung des Gangverhältnisses von Bewegungen durch Uhren

Die zweite Bestimmung einer vollständig bestimmten Bewegung bezieht sich auf das Gangverhältnis, das die Bewegung zu einem anderen Verlauf hat. Auch das Gangverhältnis soll

2) Die Beschreibung der Form von Bahnen kann als ein Grund gesehen werden, die Formentheorie als analytische Geometrie zu betreiben.

bei einer Reproduktion der Bewegung mit wiederholt werden. Zu welchen Verläufen jeweils die Bewegung ein festes Gangverhältnis haben soll, läßt sich nicht allgemein angeben, es kommt dazu auf den weiteren technischen Kontext an, in dem die Bewegung erzeugt werden und zur Verfügung stehen soll.

Um nun aber auch solche Verläufe hinsichtlich der Gleichzeitigkeit von Stellungen, die nicht an einem Ort sich abspielen, aufeinander abstimmen zu können, empfiehlt es sich, das Gangverhältnis zwischen zwei Verläufen festzulegen über die Gangverhältnisse, die beide jeweils zu einem dritten kopierbaren Verlauf haben.

Ist ein solcher kopierbarer Verlauf verfügbar, so ist damit das Gleichzeitigkeitsproblem prinzipiell gelöst. Man nimmt dazu nur zwei Realisierungen $V(K)$ und $V'(K)$, die Kopien voneinander sind, und läßt sie an einem Ort zugleich beginnen. Kann nun noch technisch gesichert werden, daß bei Transporten von K und K' , bei denen die Verläufe weiterlaufen, die Ganggleichheit nicht aufgehoben wird, so können K und K' an verschiedene Orte transportiert werden, wo die Gleichzeitigkeit von Ereignissen herbeigeführt oder festgestellt werden soll. Wenn ein Ereignis E zeitlich mit der Stellung $S(K)$ und das Ereignis E' zeitlich mit der entsprechenden Stellung $S(K')$ zusammenfallen, dann sind E und E' gleichzeitig, unabhängig davon, an welchem Ort sie sich zutragen.

Damit ein kopierbarer Verlauf $V(K)$ sich zum "universellen Vergleichsverlauf" eignet, über den Gangverhältnisse zwischen beliebigen Verläufen festgelegt und überprüft werden, muß er jedenfalls prinzipiell verlängerbar sein, d.h. es muß möglich sein, jede erreichte Stellung in mindestens eine weitere, spätere Stellung zu transformieren.

Da es hier nur um einen Vergleichsverlauf geht, mit dem Stellungen aus verschiedenen Verläufen hinsichtlich der komparativen zeitlichen Ordnung miteinander verglichen werden, kommt es inhaltlich auf die Stellungen des Verlaufs gar nicht an. Es reicht hin, wenn sich überhaupt Stellungen unterscheiden lassen, und es genügt dann noch einmal darüber hinaus, wenn sich eine bestimmte Stellung $S(K)$ immer wiederholt.

Jede Stellung ist dann als die n -te Wiederholung eindeutig bestimmt, so daß wir uns den Verlauf durch ein Zählgerät realisiert denken können, das die Wiederholungen abzählt. Die n -te Wiederholung von $S(K)$ bezeichnen wir im folgenden mit $n(k)$. Die geforderte prinzipielle Verlängerbarkeit des Verlaufs ist durch ein Zählgerät gewährleistet: es kann immer weiter gezählt werden.

Über den "universellen Vergleichsverlauf" $V(K)$ müssen sich alle technisch sinnvollen Gangverhältnisse zwischen Verläufen beschreiben und dadurch realisieren lassen, daß entsprechende Gangverhältnisse jeweils zu diesem Vergleichsverlauf technisch reproduzierbar gemacht werden.

Außerdem soll das, was vermittelt über den Vergleichsverlauf zum Gangverhältnis von Verläufen gesagt werden kann, nicht durch Eigenheiten der Stellungen von $V(K)$ mit bestimmt sein. Insbesondere sollen Aussagen über Gangverhältnisse, die auf $V(K)$ rekurrieren, invariant gegenüber verschiedenen Stellungen von $V(K)$ sein. Was sich also über das Gangverhältnis eines Verlaufs $V'(K')$ zu anderen Verläufen sagen läßt, wenn man $V'(K')$ von der Stellung $n(K)$ aus mit $V(K)$ vergleicht, soll wahr bleiben, wenn man $V'(K')$ von der Stellung $m(K)$ ($n = m$) aus mit $V(K)$ vergleicht.

Bei einem Zählgerät laufen Aussagen über Gangverhältnisse auf Feststellungen der Art hinaus, daß eine Stellung mit

der Stellung $n(K)$ zeitlich zusammenfällt, wenn eine andere Stellung mit $m(K)$ gleichzeitig sich ereignet. Aussagen über Gangverhältnisse werden bei Benützung eines Zählgerätes zu Behauptungen darüber, wie oft zwischen zwei Stellungen aus einem Verlauf gezählt wird.

Die zu fordernde Ununterscheidbarkeit der Stellungen $n(K)$ von $V(K)$ im Hinblick auf die Festlegung von Gangverhältnissen zwischen Verläufen bedeutet daher folgendes: begonnen von der Stellung $n(K)$ aus wird zwischen zwei Stellungen aus einem beliebigen Verlauf j -mal gezählt. Ununterscheidbar sind die Stellungen von $V(K)$, wenn, hätte man statt von $n(K)$ von $m(K)$ aus begonnen, wieder j -mal gezählt worden wäre zwischen den beiden Stellungen.

Das hypothetische "hätte" läßt sich aber mit Kopien von $V(K)$ noch realisieren. Für zwei Zählgeräte $V(K)$ und $V(K')$, die Kopien voneinander sind, muß daher für alle natürlichen Zahlen n und m gelten: läßt man $V(K)$ von der Stellung $n(K)$ und $V(K')$ von der Stellung $m(K')$ aus gleichzeitig beginnen, so hat für beliebiges j $V(K)$ die Stellung $n+j(K)$ genau dann erreicht, wenn $V(K')$ die Stellung $m+j(K')$ erreicht hat. Das Verhältnis der gezählten Takte bei Kopien solcher Zählgeräte ist von beliebigen Stellungen aus begonnen stets konstant 1.

So definierte Zählwerke nennen wir Uhren. Uhren realisieren gleichförmige Verläufe. Es gilt außerdem, daß zwei beliebige Uhren ein konstantes Gangverhältnis zueinander haben³⁾.

3) JANICH 1969 hat zum ersten Mal eine zirkelfreie Definition der gleichförmigen Bewegung als Grundlage der Zeitmessung gegeben. LORENZEN hat 1976 in einem noch unveröffentlichten Papier "Zur Eindeutigkeit der Zeitmessung" die JANICHsche Definition vereinfacht und dann auch noch "entgeometrisiert". Die zuletzt genannte Uhrendefinition von LORENZEN wird hier benutzt. - Der Eindeutigkeitssatz läßt sich besonders einfach beweisen; wie LORENZEN gezeigt hat: Da das Verhältnis der Taktzahlen einer Uhr U_1 zu ihrer Kopie U_1 konstant 1 ist für beliebige Stellungen und das auch für jede andere Uhr U_2 und ihre Kopie U_2 gilt, ist das Verhältnis der Taktzahlen von U_1 zu U_2 von beliebigen Stellungen aus immer gleich mit dem Verhältnis der Taktzahlen der Kopie U_1 zu

2.2. Die ideale Konstruktion von Bewegungsformen und ihre Beschreibung durch Bahnfunktionen

Durch die geometrische Bestimmung der Bahn und die chronometrische Bestimmung des Ganges ist eine Bewegungsform eindeutig festgelegt. Eine Bewegungsform, so hatten wir oben gesehen, ist als Verlauf zu beschreiben durch die nacheinander eintretenden Veränderungen der räumlichen Lage eines Körpers K zu einem Bezugskörper K' , wobei das zeitliche Nacheinander der Ortsveränderungen relativ zum Gang einer Uhr bestimmt wird. Die jeweilige räumliche Lage von K zu K' wird über ein Koordinatensystem in K' durch den Ortsvektor dargestellt. Eine Bewegungsform kann somit beschrieben werden durch eine Funktion $r(t) = (F_x(t), F_y(t), F_z(t))$, wobei " t " eine Variable für die Stellungen einer Uhr ist und für jede Stellung t $F_x(t)$ den Wert der x -Koordinate, $F_y(t)$ den Wert der y -Koordinate und $F_z(t)$ den Wert der z -Koordinate des Ortsvektors zu berechnen gestatten, der zu dem Ort gehört, an dem sich der bewegende Körper K gleichzeitig mit der Stellung t der Uhr befindet. Solche Funktionen nennen wir im folgenden Bahnfunktionen.

Der Forderung, Bewegungsformen, die ja durch konkrete Bewegungen stets nur realisiert werden, generell und wegen ihrer Reproduzierbarkeit situationsonvariant zu beschreiben, kommen wir dadurch nach, daß in der Darstellung der Bewegungsform erstens nicht durch Eigennamen oder Kennzeichnungen Bezug genommen wird auf konkrete Bewegungskörper und Bezugssysteme und zweitens kein konkreter Zeitpunkt (etwa als Anfangs- oder Endpunkt der Bewegung) ausgezeichnet wird. Beide

U_2 von beliebigen Stellungen, daraus folgt die Konstanz des Gangverhältnisses von U_1 und U_2 von beliebigen Stellungen aus.

Im Gegensatz zum Eindeutigkeitssatz für die Ebene weiß man mit dem Eindeutigkeitssatz für die Zeitmessung weniger als man für einen technisch sinnvollen Umgang mit Uhren oft an muß. Im Fall der Ebene weiß man aufgrund des Eindeutigkeitssatzes, daß zwei beliebige Ebenen zueinander passen, im Fall der Uhren beweist der Eindeutigkeitssatz nur die Konstanz des Gangverhältnisses, sagt noch nichts darüber

Forderungen sind erfüllt wenn ein mathematischer Term $r(t)$ angeschrieben wird.

Solange nur Bahnfunktionen aufgestellt werden, und das ist die erste zu erfüllende Aufgabe einer technikorientierten Physik, treibt man Kinematik: man konstruiert formentheoretisch Bewegungsabläufe. Und diese idealen Konstruktionen der Kinematik sind ganz unabhängig davon, ob in der Natur solche Bewegungen schon vorkommen oder wie wir solche realisieren können. Zwar ist die Kinematik nur möglich auf der Basis der alltagsweltlich-handwerklichen Unterscheidungen, die die Praxis sprachlich artikulieren und orientieren, Gestalten zu erzeugen und geeignete Gangverhältnisse zwischen Verläufen einzurichten, aber mit dem Übergang zu den Formentheorien, zur Geometrie und Chronometrie, stellt man keine lebensweltlich-empirisch zu begründenden Behauptungen mehr auf, sondern definiert und zieht logische Folgerungen aus den Definitionen. Ob und wie die Definitionen und ihre Implikate durch geeignete Bearbeitung, Konfigurierung und Bewegung von Körpern realisierbar sind, bleibt erst einmal dahingestellt.

Gleichwohl ist die Formentheorie kein sich von der handwerklichen Technik vollständig ablösendes Ergebnis "weltabgewandter" Geistestätigkeit. Sie hat einen auf die technische Praxis und ihre Verbesserung bezogenen Zweck:

- wenn man gestaltgleiche Körper erzeugen und geeignete Gangverhältnisse zwischen technisch reproduzierbaren Verläufen herbeiführen will, wird man durch die formentheoretische Festlegung der Gestalten und Verläufe von Prototypen unabhängig.

aus, welches Gangverhältnis zwei Uhren haben.
Das muß dann letzten Endes doch dadurch geprüft werden, daß man die beiden Uhren an einen Ort bringt und dort gleichzeitig laufen läßt.

- wenn man Gestalten erzeugen will, werden durch die Formentheorie Passungen ohne räumlichen Transport gesichert; es muß nur das Definiens der Formendefinition erfüllt werden;
- wenn man Verläufe geeignet zeitlich miteinander koordinieren will, kann man sich dazu auf einen universellen Vergleichsverlauf beziehen und kann dann auch Gleichzeitigkeit an verschiedenen Orten prüfbar bestimmen.

Die Kinematik ist die Geometrie und Chronometrie verbindende Theorie der idealen Bewegungsformen. Sie ist als Theorie der Bahnfunktionen $r(t)$ Mathematik. Für den in der Kinematik zu betrachtenden mathematischen Raum der Raum-Zeit-Punkte ist eine formentheoretisch herleitbare Metrik eindeutig gegeben: der Abstand d zwischen zwei Punkten P und P' mit den Ortskoordinaten (x_1, x_2, x_3) und (x'_1, x'_2, x'_3) ist die Länge der Strecke zwischen den beiden Punkten und hat die Größe:

$$d(P, P') = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_i - x'_i)^2} .$$

Für die durch ideale Uhren bestimmte Zeit ist der zeitliche Abstand zwischen zwei Stellungen t_1 und t_2 des gleichförmigen Verlaufs einfach $|t_1 - t_2|$. Diese Metrik hat zunächst noch nichts mit Messungen zu tun: Abstände werden in der Kinematik nicht ausgemessen, sondern sie werden berechnet.

2.3. Geometrie und Chronometrie als Prototheorien der Längen- und Zeitmessung

Der Kinematik ist nicht zu entnehmen, wie Bewegungsformen zu realisieren sind⁴⁾. Das wird erst in der Dynamik unter-

4) Die früheren Versuche einer Grundlegung von Geometrie und Chronometrie innerhalb der konstruktiven Wissenschaftstheorie sind geprägt von der Vorstellung, die Beschreibung des Herstellungsverfahrens der "Formen" mit in die "ideative Einführung" hineinzunehmen. Ein Beispiel dafür ist INHETVEENS Ebenendefinition in seinem Aufsatz "Die Dinge des dritten Systems".

sucht. Bevor man aber fragt, über welche technische Handlungsabfolgen man mit Körpern formentheoretisch definierte Bewegungen zustandebringt, besteht ein erster Schritt zurück von den idealen Konstruktionen zum technischen Umgang mit realen Körpern in der Frage, wie man von einer konkreten Körperbewegung denn überhaupt nachprüfen kann, ob sie eine Bewegungsform und damit eine bestimmte Bahnfunktion $r(t)$ realisiert.

Um die Realisierung von Bewegungsformen durch konkrete Körperbewegungen nachweisen zu können, muß erstens ein konkreter Körper als Bezugskörper ausgewählt werden; zweitens müssen die Richtungen der Koordinatenachsen durch Bezug auf weitere konkrete physikalische Körper fixiert werden; es muß drittens eine Einheitslänge an dem Realisat einer Strecke ausgezeichnet werden; viertens muß ein geeignetes Realisat einer Uhr hergestellt und in Gang gesetzt werden. Man verläßt hiermit den rein theoretisch zugänglichen Bereich idealer Konstruktionen und geht mit Realisaten von Formen um.

Man mißt, und das ist eine Technik mit konkreten Körpern, die allerdings in besonderer Weise, wie wir gleich diskutieren werden, durch Geometrie und Chronometrie orientiert bleibt. Bisher haben wir Geometrie und Chronometrie als Formentheorien kennengelernt, jetzt untersuchen wir sie in ihrer Rolle als Prototheorien der Längen- und Zeitmessung.

Man kann in den meisten Fällen nicht wirklich ein kubisches Gitter als Koordinatensystem durch den "Raum" spannen, sondern neben der Fixierung eines Koordinatenursprungs und der Richtungen der Achsen wählt man jetzt einen Körper, der in geeigneter Weise eine Strecke realisiert, und benutzt ihn als Meßplatte, um die Projektionen von einer Stelle auf die drei Achsen auszumessen. Man legt den Körper zwischen zwei physikalisch markierte Stellen und trägt ihn

mehrere Male entsprechend ab. Das alles ist bekannt.

Mit einer solchen Meßplatte K messen wir Streckenrealisate. Es wird zwischen ihnen Passung überprüft. Passung meint dabei folgendes: bringt man den Körper K mit dem einen Endpunkt S_1 der auf ihm realisierten Strecke so mit dem einen Endpunkt S'_1 der auf einem anderen Körper K' realisierten Strecke zur Berührung, daß sich auch die beiden anderen Endpunkte berühren, so passen die Körper in geeigneten Oberflächenstücken zueinander, in denen gerade jeweils die Strecken liegen. Wir notieren im folgenden kurz $K \text{ p } K'$, wenn wir diese besondere Streckenpassung meinen.

Passungsvergleiche zwischen Streckenrealisaten K_1 und K_2 über eine Meßplatte K machen ersichtlich nur dann einen Sinn, wenn die Passung von Strecken transitiv ist:

$$(1) \quad K_1, K \text{ p } \text{passen} \wedge K, K_2 \text{ p } \text{passen} \rightarrow K_1, K_2 \text{ p } \text{passen}.$$

Die Passungen zwischen K und K_1 und zwischen K und K_2 führen wir nacheinander aus. Wenn wir jetzt doch K_1 geeignet an K_2 anlegen und sich keine Passung herstellen läßt, dann muß der Schluß begründet sein, daß sich in der Zwischenzeit K_1 oder K_2 gestaltmäßig verändert haben:

$$(2) \quad K_1, K \text{ p } \text{passen} \wedge K, K_2 \text{ p } \text{passen} \wedge K_1, K_2 \text{ p } \text{passen} \rightarrow \\ \rightarrow K_1 \text{ p } \text{verändern} \vee K_2 \text{ p } \text{verändern}$$

Die Behauptung (2) hat entscheidende Bedeutung für jede sinnvolle Längenmessung. Für die Längenmessung müssen wir von der "Konstanz" des Körpers K ausgehen können: wenn sich die Transitivität empirisch nicht ergibt, dann wird das auf Veränderungen von K_1 oder K_2 zurückgeführt; und umgekehrt: nur relativ zur gesicherten "Konstanz" von K lassen sich begründete Aussagen über Längenveränderungen treffen⁵⁾.

5) DINGLERS Bemühungen um "Konstanz im Flusse des Veränderlichen" läßt sich im Hinblick auf den Längenvergleich verstehen als die Bemühung, den Satz (2) zu begründen.

Wie ist die Aussage (2) zu begründen? (2) ist gleichwertig mit der folgenden Behauptung:

- (3) $K_1, K \in \text{passen} \wedge K, K_2 \in \text{passen} \wedge K_1 \notin \text{verändern} \wedge K_2 \notin \text{verändern} \rightarrow K_1, K_2 \in \text{passen}.$

Daß sich die Körper K_1 und K_2 nicht verändern, kann ersetzt werden durch die Behauptung, daß sie die "Konstanz" besitzen, die schon von einer geeigneten Meßlatte K zu fordern ist. Eine Meßlatte mit dieser Konstanzeigenschaft nennen wir starr (die Definition folgt gleich), so daß die Behauptung (2) insgesamt ersetzt werden kann durch die Behauptung

- (4) $K_1 \in \text{starr} \wedge K_2 \in \text{starr} \wedge K \in \text{starr} \wedge K_1, K \in \text{passen} \wedge K, K_2 \in \text{passen} \rightarrow K_1, K_2 \in \text{passen}.$

Die Behauptung (4) ist noch einzulösen. Erst wenn gezeigt ist, daß Passung von Streckenrealisaten auf starren Körpern transitiv ist, kann eine vernünftige Praxis der Längenmessung in Gang kommen.

Wir müssen jetzt erst einmal "Starrheit" definieren. Wo liegt dabei das Definitionsproblem? Die Definition enthält die wesentliche Problematik der Längenmessung. Man geht davon aus, daß zwei Körper mit ihren Streckenrealisaten geeignet aneinander liegen und zueinander passen (im oben bestimmten Sinne). Dann schiebt man die Körper beliebig auseinander. Wenn die Körper dabei konstant bleiben sollen, d.h. immer noch zueinander passen, so kann das nicht mehr direkt, eben durch Anlegen der Körper geprüft werden. Es darf aber auch nicht durch indirekten Vergleich mit einem dritten Körper geprüft werden, da ein solches Vorgehen das in Frage stehende Problem nur auf den dritten Körper verschieben würde. Die Konstanz der Körper muß irgendwie festgemacht werden an der Konfiguration und ihrer Gestalt, die entsteht, wenn die Körper gegeneinander verschoben werden.

Es läßt sich über natürliche Gestalten nur etwas aussagen, indem man zwei Körper einem dritten Körper anpaßt, der auch nur empirisch vorweisbar ist. Für das Problem der Konstanz von Meßlatten hat diese Überlegung zur Folge, daß, solange wir bei der Betrachtung physikalischer Körper, ihrer Gestalten und Konfigurationen stehen bleiben, wir nicht aus dem Dilemma herauskommen werden, die Konstanz durch mit Transport verbundene Passungen feststellen zu müssen. Über natürliche Gestalten läßt sich Starrheit nicht methodisch-pragmatisch zirkelfrei definieren.

Dem Dilemma entgehen wir, wenn wir die Gestalt der bei Verschiebungen entstehenden Körperkonfigurationen formentheoretisch beschreiben und aus dieser formentheoretischen Beschreibung logisch die Passung folgt. Das heißt aber: wir müssen die Starrheit von Körpern, halten wir an einer zirkelfreien Definition fest, formentheoretisch, also euklidisch-geometrisch definieren.

Die bekannte/geomtrische Definition der Starrheit lautet, daß ein Körper genau dann starr ist, wenn eine durch ihn realisierte Strecke bei jeder Bewegung in eine kongruente übergeht⁶⁾. Die Kongruenz von Strecken ist formentheoretisch definiert. Man kann beweisen, daß die Kongruenz eine Äquivalenzrelation ist⁷⁾, was für unser Problem wichtig ist.

6) Diese Definition des starren Körpers findet sich bei LORENZEN in seinem Aufsatz "Das Begründungsproblem der Geometrie als Wissenschaft der räumlichen Ordnung", abgedruckt in LORENZEN 1974, S. 128.

7) Zur Definition der Kongruenz und zum Beweis der Transitivität der Kongruenz vgl. den noch unveröffentlichten Aufsatz "Eine konstruktive Theorie der Formen räumlicher Figuren", S. 14 ff, von LORENZEN 1976.

Wir haben noch zu zeigen, daß aus der Starrheitsdefinition die Behauptung (4) sich beweisen läßt, andernfalls hätten wir keine brauchbare Definition vor uns. Wir klären dazu zuerst, welcher Zusammenhang zwischen der formentheoretisch definierten Kongruenz und der Passungsrelation besteht. Es gilt erstens die Invarianz der Kongruenz von Strecken bezüglich Streckenpassung, d.h. es gilt die Behauptung

(5) $K, K' \in \text{kongruent} \wedge K, K' \in \text{passen} \rightarrow K, K' \in \text{kongruent}$ ⁸⁾.

Weiter gilt die Behauptung

(6) $K, K' \in \text{kongruent} \wedge K \in \text{starr} \wedge K' \in \text{starr} \rightarrow K, K' \in \text{passen}$ ⁹⁾.

Aus dem Antezedenz der Behauptung (4) folgt mittels der Starrheitsdefinition

(7) $K_1, K_2 \in \text{kongruent}$ (nach Verschiebung des Körpers K von K_1 nach K_2). Daraus folgt wegen (5)

(8) $K_1, K_2 \in \text{kongruent}$, und daraus wegen (6)

(9) $K_1, K_2 \in \text{passen}$. Damit ist (4) gezeigt.

8) $K, K' \in \text{kongruent}$ bedeutet die Kongruenz von Strecken, die durch K und K' realisiert sind. - Die Invarianz der Kongruenz bezüglich der Streckenpassung ist trivial, weil man in einer Konfiguration, durch die Kongruenz realisiert wird, an ein Streckenrealisat ein dazu passendes entsprechend anlegen kann, ohne an der Konfiguration etwas zu ändern, denn im Sinne der Streckenpassung (siehe oben) zueinander passende Strecken sind gestaltgleich. An geometrischen Konfigurationen ändert sich nichts durch Austausch gestaltgleicher Körper.

9) Zur Begründung der Behauptung (6) muß man auf die Definition der Kongruenz zurückgehen; Einzelheiten dazu siehe in dem bereits erwähnten Manuskript von LORENZEN "Eine konstruktive Theorie der Formen räumlicher Figuren". Zwei Strecken werden in einem kubischen Gitter durch zulässige Verschiebungen aufeinander geschoben. Das sieht für die Parallelkongruenz etwa so aus: eine zulässige Verschiebung einer auf einer Grundgerade liegenden Strecke mit den Koordinatenwerten $(m, n), (m', n)$ läßt die Differenz $m - m'$ konstant. Eine zulässige Verschiebung im Gitter ist die Änderung der Werte der zweiten Koordinate: die Strecke wird auf eine andere Grundgerade geschoben. Bei der zweiten von zulässiger Verschiebung werden nur die Werte der ersten Koordinaten verändert und zwar so: wird der Wert der einen Koordinate um $+ \text{ bzw. } - j$ verändert, wird der Wert der anderen um $- \text{ bzw. } + j$ verändert. Jetzt sieht man schnell, daß man parallelkongruente Strecken im Gitter durch zulässige Verschiebungen aufeinander schieben kann.

Die Behauptung (4) besagt, daß drei starre Meßplatten, wenn sie gegeneinander verschoben werden, hinsichtlich der auf ihnen realisierten Strecken durch die dabei entstehenden Konfigurationen die geometrischen Formen der Parallel- und Spiegelungskongruenz realisieren. Dies berechtigt zusammen mit dem Umstand, daß sie Strecken realisieren, zu der Behauptung, daß Körper zur Längenmessung euklidische Körper sein müssen. Nur über die Euklidizität der Meßplatten ist Längengleichheit eine Äquivalenzrelation.

Zugleich macht die geometrische Definition des starren Körpers zur Längenmessung den Bau und die Reproduktion von Meßplatten prinzipiell unabhängig davon, daß empirisch vorweisbare Körperindividuen als Prototypen vorhanden sind. So erweist sich die Geometrie nicht nur als die Theorie räumlicher Formen, sondern auch als die Prototheorie der Längenmessung.

Für die Messung von Dauern ergeben sich keine weiteren Probleme nach der formentheoretischen Definition der Uhr und dem Beweis der Eindeutigkeit, d.h. des konstanten Gangverhältnisses von Uhren. Daß die Chronometrie die Prototheorie der Zeitmessung ist, haben wir bereits bei unseren Betrachtungen über Gangverhältnisse von Verläufen erörtert. Wir verweisen auf die entsprechenden Abschnitte zurück.

2.4. Zu den Stetigkeits- und Differenzierbarkeitseigenschaften der Bahnfunktionen

In der Physik geht man allgemein davon aus, daß die Bahnfunktionen auf reellen Zahlenintervallen definiert und mindestens zweimal stetig nach der Zeit differenzierbar sind. Dafür werden in den Physikbüchern drei unterschiedliche Begründungen gegeben. Diese Begründungen und ihre Schwierigkeiten erscheinen aber in einem anderen Licht,

wenn man sich von der gemeinsamen Voraussetzung aller drei Begründungsversuche freimacht, der Voraussetzung, die Bahnfunktionen seien mathematische Beschreibungen der in der Natur vorkommenden Bewegungen. Das wollen wir im Folgenden untersuchen.

Ein Teil der Physikbücher thematisiert solche Probleme überhaupt nicht explizit. In ihnen wird innerhalb mathematischer Ableitungen mit den Bahnfunktionen als stetig differenzierbaren Funktionen operiert. Ein Begründungsproblem wird nicht gesehen oder es wird ihm zumindest aus dem Weg gegangen¹⁰⁾.

Nicht viel besser ist es um die zweite Kategorie von Antworten in der Physikliteratur bestellt. In den Lehrbüchern dieser Gattung werden die Stetigkeits- und Differenzierbarkeitsfragen zusammen mit der Einführung der Begriffe "Geschwindigkeit" und "Beschleunigung" besprochen. Daß die mittleren Geschwindigkeiten bei Konvergenz der Zeiten gegen einen festen Zeitpunkt einen Grenzwert besitzen, wird mit dem Hinweis auf die "experimentelle Erfahrung" begründet. Nach dieser empiristischen Auffassung ist stetige Differenzierbarkeit der Bahnen eine "empirische Hypothese", die sich bisher bewährt hat, weil sie mit den "Tatsachen", den Messungen immer in Einklang gebracht werden konnte¹¹⁾.

Diese empiristische Auffassung verkennt indes völlig, daß die zweimalige stetige Differenzierbarkeit der Bahnfunktionen überhaupt keine "empirische Hypothese" sein kann. Sie kann, was sich seit POPPER auch unter Physikern

10) Ein Beispiel dafür ist z.B. das Lehrbuch von GOLDSTEIN 1972.

11) Solche Argumente finden sich vornehmlich in Lehrbüchern der Experimentalphysik. Sie sind überhaupt in einem erschreckendem Ausmaße beherrscht von einem völlig undifferenzierten und schlichtweg platten Empirismus der Messungen.

herumgesprochen hat, nicht durch Messungen verifiziert werden. Doch sie kann auch nicht durch Messungen widerlegt werden. Gemessen werden immer nur endlich viele zeitabhängige Orte eines sich bewegenden Körpers, endlich viele mittlere Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für meßbare Zeitdifferenzen. Diese endlich vielen Meßergebnisse beweisen selbstverständlich niemals eine Konvergenz, sie widerlegen aber auch nicht die Behauptung einer Konvergenz. Behauptung wie Widerlegung können nur über Abschätzungen mathematisch bewiesen werden, wozu die Bahnfunktion $r(t)$ explizit bekannt sein müßte. Die Bahnfunktion $r(t)$ steht nicht zur Verfügung, da nach der empiristischen Auffassung nur endlich viele, rationalwertige Meßdaten zunächst bekannt sind, die die Bahnfunktion der Bewegung nicht eindeutig bestimmen.

Die Differenzierbarkeit der Bahnfunktionen "axiomatisch zu setzen" ist die dritte Position, der man in den Lehrbüchern der Physik begegnet. Die Vertreter dieser Position betonen, daß durch Differentialquotienten definierte Größen wie Augenblicksgeschwindigkeit und Augenblicksbeschleunigung nicht unmittelbar gemessen werden können. Schon die Aufstellung der auf einem reellen Zahlenintervall definierten Bahnfunktion $r(t)$ ist ein Extrapolationsschritt, der weit über das in der messenden Erfahrung "Gegebene" hinausgeht. Die "Beschreibung" der wirklichen Bewegung ist ein "idealisierendes Modell der Naturvorgänge"¹²⁾.

Bei diesem Idealisierungsschritt kann man sich auf das mathematische Argument berufen, daß zu endlich vielen zeitabhängigen Ortsvektoren $S_1(t_1), \dots, S_n(t_n)$, die als Orte eines sich bewegenden Körpers gemessen werden, immer eine entsprechend differenzierbare reell-analytische Funktion

12) Eine solche Position wird ausführlich expliziert in dem Lehrbuch von LUDWIG 1974, S. 114 ff. Auch STEGMÜLLER spricht von "theoretischen Idealisierungen", STEGMÜLLER 1970, S. 252.

$r(t)$ mit $r(t_i) = S_i(t_i)$ aufgestellt werden kann. Stehen die mit der Funktion $r(t)$ vorgenommenen Berechnungen nicht mit weiteren Meßdaten im Einklang, so tritt an die Stelle eine neue, wieder reell-analytische Funktion $r'(t)$.

Daß man reell-analytische Funktionen gerade wählt, wird nicht durch eine theoretische Auswertung der Meßergebnisse erzwungen, sondern ist methodisch begründet: Bei jedem Stand der experimentellen Forschung sind endlich viele Messungen durchgeführt worden. Selbst dann, wenn wir natürliche Bewegungen studieren, werden sie in der Mechanik nur insoweit theoretisch analysiert, als sie sich wiederholen oder immer weitergehen. Es bilden die bei der Beobachtung solcher Bewegungen durchgeführten Messungen also den Anfang einer prinzipiell beliebig verlängerbaren Folge von Messungen, denn es können stets neue, weitere Messungen zu einer Bewegung gemacht werden. Da die Bahnfunktionen $r(t)$ die "empirisch beobachtbaren", die gemessenen Bewegungen beschreiben sollen, müssen sie aufgrund der gesicherten und reproduzierbaren Meßdaten, also spätestens durch eine Folge von Meßdaten eindeutig bestimmt sein. Reell-analytische Bahnfunktionen sind durch Folgen eindeutig bestimmt¹³⁾. Diese Funktionen sind zweimal stetig differenzierbar.

Hält man an der Auffassung von Physik fest, wonach sie eine Theorie der natürlichen Bewegung ist, führt die eben dargestellte methodische Auszeichnung der reell-analytischen Funktionen zu einer Begründung der stetigen Differenzierbarkeit der Bahnfunktionen.

13) Zwei reell-analytische Funktionen, die in einem endlichen Intervall für eine Folge von Argumenten übereinstimmen, stimmen dann sogar für alle Argumente in dem Intervall überein; vgl. LORENZEN 1965, S. 101.

Begreift man die Physik als technikorientierte Theorie, ergibt sich nochmals ein anderes Bild: die Vertreter der eben erörterten Position haben den Fall dort vor Augen, daß ohne unser Zutun eine Bewegung abläuft, von der zunächst nur einige zeitabhängige Ortsangaben bekannt und gesichert sind. Die endlich vielen gemessenen Beobachtungen sollen dann etwa mit der "idealisierenden Behauptung" in Einklang gebracht werden, es finde eine Kreisbewegung statt. Paradigmatisch ist der auch historisch bedeutsame Fall der himmelsmechanischen Theorie der Planetenbahnen.

Die konstruktive Wissenschaftstheorie stellt für die Rekonstruktion der Physik eine andere Ausgangssituation an den methodischen Anfang, nämlich die Absicht, eine Kreisbewegung "künstlich" zu erzeugen. Es ist in diesem Falle vor jeder Messung die Bahnfunktion $r(t)$ bereits explizit innerhalb der Kinematik aufgestellt. Von Realisierungsversuchen wird geprüft, ob die Berechnungen aufgrund der bekannten Bahnfunktion mit den Meßergebnissen übereinstimmen.

Insofern nun die Bahnfunktionen als Beschreibungen dessen, was von uns mit konkreten physikalischen Körpern erst realisiert werden soll, bereits vor jeder Messung bekannt sind, ist es keine empirische Frage, ob die Bahnen zweimal stetig differenzierbar sind. Es liegen mit den Bahnfunktionen auch keine "idealisierende Beschreibungen" von natürlichen Bewegungen vor, sondern ideative Konstruktionen, die durch konkrete Bewegung verwirklicht werden sollen. Die stetige Differenzierbarkeit der Bahnfunktionen $r(t)$ muß sich daher aus den Konstruktionsprinzipien von Bewegungsformen ergeben.

Daß die Bahnfunktionen auf einem Zeitintervall definiert sind, ist leicht einzusehen. Eine Bewegungsform realisieren wir durch eine Bewegung, die wir zu einem von uns gewählten Augenblick t_a beginnen und zu einem wieder von uns gewählten

Zeitpunkt t_e enden lassen. In der Zeit zwischen t_a und t_e hat der Körper immer einen Ort auf der von uns vorherbestimmten, geometrisch ausgezeichneten Bahn, darin besteht gerade u.a. die sorgfältige und genaue Realisierung einer Bewegungsform. Wir nehmen nicht idealisierend an, der Körper habe zu jedem Zeitpunkt des Intervalls einen festen Ort, vielmehr nehmen wir uns gerade vor, den Körper während der Zeitspanne auf der fest vorgeschriebenen Bahn laufen zu lassen, etwa indem wir dafür sorgen, daß er eine Leitschiene ständig berührt.

Wenn wir durch technische Arrangements Bewegungen wiederholbar erzeugen, haben wir zu prüfen, ob zwei Bewegungen eine Bewegungsform hinreichend genau realisieren bzw. die eine Bewegung eine Wiederholung der anderen ist. Dazu können wir jeweils nur endliche viele Ortsbestimmungen in einem endlichen Zeitintervall vornehmen. Diese Messungen müssen aber prinzipiell hinreichen, um zu entscheiden, ob eine Bewegungsform realisiert ist. "Prinzipiell hinreichen" bedeutet: reichen die jeweilig endlichen vielen Messungen noch nicht hin, so müssen durch Wiederholung der Versuche weitere Messungen den Ausschlag geben. Durch eine beliebig verlängerbare Folge von Meßresultaten, deren Anfang explizit bekannt ist, müssen Realisierungen als solche bestimmbar sein. Daraus folgt, daß sich die Bahnfunktionen $r(t)$ durch reell-analytische Funktionen darstellen lassen müssen.

Daß die Bahnfunktionen $r(t)$ Funktionen von einem Intervall im $\mathbb{R}$ in den $\mathbb{R}^3$ sind, ist damit begründet, daß die Bewegungsformen ideale Gebilde der Kinematik sind. Für Strecken folgt aus dem Prinzip der Archimedität, daß je zwei Strecken genau eine reelle Zahl als ihr Längenverhältnis haben. Legt man eine Einheitsstrecke zugrunde, ist schon jede reelle Zahl zwischen 0 und 1 als Länge einer Teil-

strecke der Einheitsstrecke gegeben¹⁴⁾. Beim Übergang zu rationalzahligen Vielfachen der Einheitsstrecke wird in dem entsprechenden Intervall jede konstruktiv konstruierbare reelle Zahl als Länge einer Teilstrecke der gesamten Intervalllänge angenommen. Entsprechendes gilt für die Zeitdauern. Aus dem Eindeutigkeitssatz folgt, daß jede rationale Zahl Gangverhältnis von zwei Uhren sein kann. Nimmt man noch hinzu, daß sich Uhren beliebig verfeinern lassen^{14a)}, so gilt sogar, daß jede reelle Zahl (natürlich explizit konstruierbar) Gangverhältnis von zwei Uhren werden kann.

2.5. Kinematische Bezugssysteme

Bewegungen sind Veränderungen der relativen Lage zweier Körper zueinander in der Zeit. Daher kann nur von der Bewegung eines Körpers K relativ zu einem Körper K' geredet werden. JANICH schlägt vor, die Symmetrie der Bewegungsrelation als Prädikatorenregel einzuführen:

$K \text{ bewegt sich bezüglich } K' \Rightarrow K' \text{ bewegt sich bezüglich } K$ ¹⁵⁾.

Bewegt sich K in Bezug auf K', so kann man durch K' den Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems legen. Die Bewegung von K bezüglich K' wird durch die auf dieses Koordinatensystem bezogene Bahnfunktion $r(t)$ beschrieben, wenn außerdem noch eine Uhr geeignet in Gang gesetzt wird. Zu einer entsprechenden Beschreibung der relativen Bewegung von K' zu K kommt man, wenn man den Ursprung des

14) Wenn hier von "jeder reellen Zahl" die Rede ist, dann ist das im Sinne der konstruktiven Analysis zu verstehen. Die konstruktiv erreichbaren reellen Zahlen müssen sich durch einen Term für eine rationale CAUCHY-Folge explizit darstellen lassen; vgl. LORENZEN 1965.

14a) Eine Uhr wird verfeinert, wenn man eine andere Uhr herstellt, die genau dann n Takte schlägt, wenn die erste Uhr einen Takt weiterzählt. Solche Verfeinerungen werden immer wieder benötigt, da es oft passiert, daß zu einer vorgegebenen Uhr die Stellung eines Verlaufs gerade zwischen zwei Taktschläge fällt.

15) Vgl. JANICH 1969, S. 64.

Koordinatensystems fest mit K verbindet und jetzt die zeitabhängigen Orte von K' durch die Ortsvektoren $r'(t)$ beschreibt. Die beiden Bahnfunktionen sind identisch, wenn man bei der Verlegung des Koordinatenursprungs von K' nach K die Richtungen der drei Achsen beibehält und nur jeweils für die drei Achsen die positive und die negative Richtung miteinander vertauscht. Auf diese Weise kommt dieselbe Bahnfunktion zur Beschreibung der Relativbewegung von K' relativ zu K heraus. Das rechtfertigt die JANICHsche Prädikatorenregel.

Bewegt sich ein Körper K_1 relativ zu einem Körper K_2 , mit dem ein Koordinatensystem fest verbunden ist, und wird die Bewegung von K_1 relativ zu K_2 durch die Bahnfunktion $r(t)$ beschrieben, bewegt sich weiter der Körper K_2 relativ zu einem mit einem Koordinatensystem fest verbundenen dritten Körper K_3 und wird diese Bewegung durch $r'(t)$ beschrieben, so ergibt sich die Beschreibung der Bewegung von K_1 relativ zu K_3 ganz einfach: wenn die einander entsprechenden Achsen der beiden Koordinatensysteme jeweils übereinstimmende Richtungen haben, was sich leicht einrichten läßt, dann ist die Bahnfunktion $r''(t)$ der Relativbewegung von K_1 zu K_3 aus $r(t)$ und $r'(t)$ zu berechnen nach: $r''(t) = r(t) + r'(t)$.

Das alles wirft keine weiteren Probleme auf. Denn mit diesen Überlegungen wird nur gezeigt, daß man Bewegungen eines Körpers K_1 relativ zu einem Körper K_2 auch von "außen", d.h. von einem dritten Körper K_3 aus beobachten und relativ zu ihm beschreiben kann. Die Aufstellung und Berechnung der Bahnfunktionen gestaltet sich nach der obigen Transformationsgleichung sehr einfach. Wo die Wahl eines Bezugskörpers nur danach bestimmt wird, die Bewegungen von Körpern geeignet beobachten und beschreiben zu können, sprechen wir von einem kinematischen Bezugssystem.

Es beschreibe nun der Körper K bezüglich des Bezugssystems S die Bewegung $r(t)$. Bewegt sich ein Bezugssystem S' mit der Geschwindigkeit u in positiver x-Achsenrichtung relativ zu S, so wird dieselbe, von S aus durch $r(t)$ beschriebene Bewegung von S' aus durch die nach der obigen Transformationsgleichung bestimmten Bahnfunktion $r'(t) = (F_x(t) - u t, F_y(t), F_z(t))$ ($r(t) = (F_x(t), F_y(t), F_z(t))$) beschrieben.

Zur Messung von $r(t)$ und $r'(t)$ werden jeweils von S und S' aus mit starren Meßplatten Strecken gemessen und Dauern mit Uhren, die das Gangverhältnis ¹ zueinander haben und vorher synchronisiert worden sind¹⁶⁾.

Damit sind die Gleichungen der GALILEI-Transformation für den Übergang von einem kinematischen Bezugssystem zu einem anderen begründet. Die Transformationsgleichungen liefern keine empirischen Prognosen über das, was die Physiker in S und S' jeweils messen werden.

Weichen die Messungen derselben (!) Bewegung in S und S' von der GALILEI-Transformation ab, dann ist das prinzipiell ein Grund, Hypothesen über die Veränderung (Länge und Gleichförmigkeit) der als Meßgeräte benutzten physikalischen Körper aufgrund ihrer Relativbewegung zueinander aufzustellen. Wie sich physikalische Körper wirklich verhalten, darüber ist nichts a priori auszumachen. Wir wissen nicht von vornherein, wie hinreichend genau physikalische Körper die protophysikalisch normierten Meßgeräte-eigenschaften realisieren und bei Bewegungen bewahren.

16) Das scheint mir die einzig sinnvolle Definition der Gleichzeitigkeit zu sein. Demgegenüber scheint mir die EINSTEINSche Diskussion des Begriffs der Gleichzeitigkeit nur die Frage aufzugreifen, wie wir faktisch für "sehr weit auseinanderliegende" Bezugssysteme Uhren verläßlich synchronisieren können. Das ist ein technisches Problem, keine Definitionsfrage.

Kapitel 3: METRISCHE BEGRIFFE IN DER ANALYSE DER ANALYTISCHEN WISSENSCHAFTSTHEORIE

Mit den beiden ersten Kapiteln, besonders dem zweiten, haben wir die Mechanik bereits als eine Wissenschaft rekonstruiert, die sich eines metrischen Begriffssystems bedient. Die bisher dargelegten systematischen Überlegungen sollen nun konfrontiert werden mit den Analysen, die in der analytischen Wissenschaftstheorie zur metrischen Begriffsbildung vorgelegt werden.

Über die Einführung metrischer Begriffe herrscht zwischen der analytischen und der konstruktiven Wissenschaftstheorie ein deutlicher Gegensatz der Auffassungen, der sich in den entgegengesetzten Antworten auf die Frage brennpunktartig verdeutlichen läßt, ob metrische Begriffe nur als theoretische Begriffe angemessen zu rekonstruieren sind.

Dabei ist der Diskussionsstand durchaus unerfreulich: bisher sind Vertreter der analytischen Wissenschaftstheorie noch nicht in nennenswertem Umfang im Detail auf die Vorschläge der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik eingegangen. Wo dies doch geschehen ist, haben die Kritiker der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik weder den Nachweis einer formalen Fehlerhaftigkeit der methodischen Rekonstruktionen erbringen noch die These stichhaltig untermauern können, der konstruktiven Rekonstruktion der Physik würden bewährte und unverzichtbare Theoriebestände der bisherigen physikalischen Theoriebildung zum Opfer fallen, sie sei also zu restriktiv. Das ist jedenfalls der Eindruck, den die Lektüre des Diskussionsbandes "Protophysik" hinterläßt, der die Kontroverse dokumentiert und resümiert¹⁾. Man darf wohl feststellen, daß es vom Stand der konstruktiven

1) BÜHME (Hrsg.) 1976, ein Diskussionsabend mit Beiträgen von Konstruktivisten und Analytikern.

Wissenschaftstheorie der Physik her gerechtfertigt wäre, wenn die Analytiker die mehr polemische Tonart ihrer Auseinandersetzung, die von der nur zum Teil berechtigten DINGLER-Kritik²⁾ bis zur Verulkung der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik als "Protozoen-Physik" (FEYERABEND)³⁾ reicht, einstellen und zur Argumentation an den ausgearbeiteten Teilen der Protophysik übergängen.

Zuvor noch eine terminologische Klärung: im weiteren Text verstehen wir unter einer Metrisierung die Einführung eines metrischen Begriffs. Die Metrisierung ist auseinanderzuhalten mit der Messung, durch die ein bestimmter (Zahl-)Wert für eine Meßgröße ermittelt wird. Messungen sind erst möglich, wenn der metrische Begriff schon eingeführt, eine Metrisierung also bereits abgeschlossen ist⁴⁾.

3.1. Die Rekonstruktion metrischer Begriffe in der analytischen Wissenschaftstheorie

3.1.1. Die Rekonstruktion metrischer Begriffe⁵⁾

Nach der analytischen Wissenschaftstheorie werden metrische Begriffe über Quasiordnungen eingeführt. Es wird, so die Analytiker, zunächst eine Quasiordnung mit Hilfe zweier Relationen konstituiert, die dann nach bestimmten

2) Die über das Ziel hinausschießende DINGLER-Kritik der Analytiker wird zum Teil ironisierend berichtigt bei MITTELSTRASS 1974, S. 84 - 105.

3) Vgl. FEYERABEND in HÜBNER/MENNE (Hrsg.) 1973, S.

4) Terminologisch folgen wir hierin HEMPEL und STEGMÜLLER, vgl. STEGMÜLLER 1970.

5) Wir beziehen uns im Folgenden auf zwei Texte: HEMPEL 1952, Zitate nach der dtsh. Ausg. von 1974, und STEGMÜLLER 1970, Kap. I. Die Texte sind m.E. repräsentativ für die große Mehrzahl der analytischen Wissenschaftstheoretiker. Daher darf der folgende Abschnitt trotz seiner Literaturbeschränkung als Auseinandersetzung mit der analytischen Wissenschaftstheorie gelten.

methodologischen Prinzipien quantifiziert wird, wodurch ein metrischer Begriff eingeführt wird. Zu einer Quasiordnung gehören eine Äquivalenzrelation K und eine transitive, irreflexive und antisymmetrische Vorgängerrelation V . STEGMÜLLER wählt als Beispiel für die Äquivalenzrelation "gleich schwer", die mittels einer einfachen Waage eingeführt wird, und als V die ebenfalls unter Benutzung einer Waage einzuführende Relation "schwerer als"⁶⁾.

Die Äquivalenzrelation K und die Vorgängerrelation V schaffen eine Quasiordnung für einen Gegenstandsbereich, etwa den für die Mechanik konstitutiven Bereich der materiellen Körper, wenn V bezüglich der Äquivalenzrelation irreflexiv und konnex ist, d.h. wenn gilt:

$$\bigwedge x \bigwedge y. x, y \in K \rightarrow \neg x, y \in V. \text{ und}$$

$$\bigwedge x \bigwedge y. x, y \in K \vee x, y \in V \vee y, x \in V. .$$

Die Analytiker sprechen nun von einer adäquaten Metrisierung der Quasiordnung, wenn eine Funktion f "effektiv konstruiert" wird, so daß folgendes gilt:

- a) jedem Individuum aus dem Gegenstandsbereich wird eine reelle Zahl zugeordnet;
- b) $\bigwedge x \bigwedge y. x, y \in K \rightarrow f(x) = f(y).$;
- c) $\bigwedge x \bigwedge y. x, y \in V \rightarrow f(x) < f(y).$ ⁷⁾

Die Wendung "eine Funktion f effektiv konstruieren" ist allerdings für fundamentale metrische Begriffseinführungen mehr als unglücklich, denn es wird ja kein mathematischer Term, also ein Rechenausdruck einfach hingeschrieben, der die unter a) geforderte Zuordnung von reellen Zahlen zu einem reinen Rechenschritt werden ließe, sondern es wird ein Meßgerät nominatorenfrei definiert und eine

6) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 29 ff.

7) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 48.

Meßvorschrift angegeben, so daß etwa im Fall der Relationen "gleich lang" und "länger als" die Bedingungen a) bis c) durch eine Längenmessung mit einem starren Körper und einer ausgewählten Maßeinheit erfüllt werden. Erst bei Meßgrößen, die explizit definiert werden, wird ein Term, also eine mathematische Funktion explizit hingeschrieben als Definiens. Ein Beispiel ist die Definition des klassischen Impulses als Masse mal Geschwindigkeit. Wir werden dem Unterschied zwischen den fundamentalen Meßgrößen und den explizit definierten terminologisch Rechnung tragen, indem wir im Fall der Fundamentalgrößen jedenfalls nicht von effektiv konstruierten Funktionen und von den metrischen Begriffen nicht als "Funktoren" reden werden. Der Terminus "Funktion" wird weiterhin nur im Sinne der konstruktiven Mathematik verwendet⁸⁾.

Um eine Quasiordnung adäquat im Sinne der Bedingungen a) bis c) zu metrisieren, werden die nachfolgenden vier methodischen Schritte von der analytischen Wissenschaftstheorie vorgesehen:

Erstens werden ein Meßgerät und eine Maßeinheit, die mit dem Meßgerät in geeigneter Weise verknüpft wird, ausgewählt. Die Analytiker sprechen von der Auswahl eines Standardobjekts, dem aufgrund einer Konvention der Zahlenwert 1 als Wert der einzuführenden Meßgröße zugesprochen wird.

Zweitens wird festgelegt, daß zwei Gegenstände aus dem Gegenstandsbereich, die äquivalent zueinander sind, den gleichen Wert hinsichtlich der Meßgröße haben sollen. Das ist einfach die Bedingung b), jetzt reformuliert als Meßvorschrift.

8) Vgl. LORENZEN 1965

Drittens wird das von den Analytikern so genannte Prinzip der Kommensurabilität angenommen⁹⁾. Dieses Prinzip wollen wir für die Längenmessung kurz erläutern. Wenn wir Längen an empirischen Körpern messen, benutzen wir dazu einen hinreichend starren Körper als Meßlatte und legen ihn geeignet an den zu messenden Körper an. Für die starre Meßlatte K sei eine Längeneinheit festgelegt: die durch K realisierte Strecke habe nach Verabredung die Längeneinheit 1. Um nun eine beliebige Strecke S (genauer: das Realisat einer Strecke, z.B. die hinreichend gerade Kante eines Körpers) mit der Meßlatte K abmessen zu können, ist bekanntlich so vorzugehen: Man wählt eine Teilstrecke von K, so daß die Gesamtstrecke von K ein Vielfaches dieser Teilstrecke ist. Entweder ist nun auch die auszumessende Strecke S ein Vielfaches dieser Teilstrecke von K oder es bleibt ein Rest, d.h. nach m-maligen Abtragen der Teilstrecke von K bleibt eine Teilstrecke von S, die kleiner ist als die auf K ausgezeichnete Teilstrecke. In diesem Fall kann man mit einer feineren Unterteilung der Strecke von K die Reststrecke auf S so verkleinern bis sie ganz verschwindet oder im Rahmen der Beobachtungsgenauigkeit und technischer Erfordernisse vernachlässigbar wird.

Das eben geschilderte Verfahren ist also eine Handlungsvorschrift für Messungen. Durch die Befolgung dieser Meßanweisung wird sichergestellt, daß jede Messung im Rahmen der Meßgenauigkeit und unter Berücksichtigung der technischen Erfordernisse für Längenmessungen ein rationalzahliges Vielfaches einer Einheitslänge als Meßresultat liefert.

Viertens wird das Prinzip der Additivität angenommen. Dazu wird eine x an Körpern auszuführende Operation eingeführt, die STEGMÜLLER "Kombination" nennt¹⁰⁾. Für die Längenmessung

9) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 58

10) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 49 ff.

ist die Kombination einfach das Handlungsschema, zwei Kanten von Körpern so hintereinander zu legen, daß die beiden Kanten sich erstens an einem Ende berühren und zweitens in einer Gerade liegen. Die so miteinander "kombinierten" Körper werden dann als ein Körper weiter behandelt. Es besagt jetzt das Prinzip der Additivität einfach: dem kombinierten Körper wird als Wert die arithmetische Summe der Werte seiner Teilkörper zugesprochen.

Längen werden gemessen durch wiederholtes Hintereinanderlegen der als Maßeinheit gewählten Strecke bzw. einer auf ihr ausgezeichneten Teilstrecke mit Hilfe eines starren Körpers. Wird der Längenmaßstab bei Messungen hintereinandergelegt, so ist das nichts anderes als die nur mit einem Körper stilisierte Ausführung der oben "Kombination" genannten Operation. Daß der gemessenen Strecke eine Länge gleich der Anzahl der Wiederholungen, den Maßstab an den zu messenden Körper hintereinander anzulegen, mal der Längeneinheit bzw. mal der Länge einer geeigneten Teilstrecke zugesprochen wird, ist eine Meßvorschrift.

Mit den vier Schritten ist die adäquate Metrisierung einer Quasiordnung abgeschlossen, ein metrischer Begriff ist eingeführt. Aus den Eigenschaften der Äquivalenzrelation, der Vorgängerrelation und den eben dargelegten methodischen Schritten lassen sich Aussagen über den Zusammenhang zwischen der Quasiordnung, der Kombinationshandlung und der eingeführten metrischen Größe logisch deduzieren¹¹⁾. Wir brauchen sie aber im einzelnen nicht zu besprechen.

Die grundlegende These nun, die die Analytische Wissenschaftstheorie nicht müde wird zu wiederholen und die den Widerspruch der konstruktiv orientierten Wissenschaftstheorie hervorruft, besagt, daß die Konstituierung einer Quasiordnung sowie ihre daran anschließende Metrisierung

11) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 54 f.

gegründet sind auf einer ohne empirischer Hypothesen als Festsetzungen. Die Kritik dieser These, die für die analytische Wissenschaftstheorie zentral ist, wird aufdecken, wie schon an der methodisch frühen Stelle erster fundamentaler metrischer Begriffseinführungen die Analytiker bei der Rekonstruktion der Physik jede methodisch-pragmatische Ordnung über den Haufen werfen.

Empirische Hypothesen sind nach STEGMÜLLER samt und sonders alle Behauptungen, die von K als Äquivalenzrelation gelten, und die Behauptungen der Transitivität, Irreflexivität und Konnexität bezüglich K von V. "Daß man der Kombination zweier Objekte als m-Wert die Summe der m-Werte zuschreibt, ist freilich eine Festsetzung. Doch könnte diese Festsetzung zusammen mit den anderen Regeln und den Adäquatheitsbedingungen zum Widerspruch führen. Daß sie dies nicht tut, dafür besteht in keinem konkreten Metrisierungsfall eine Notwendigkeit; vielmehr ist dies ein empirisches Faktum oder genauer: eine empirisch-hypothetische Vermutung über die Beschaffenheit unserer Welt¹²⁾". STEGMÜLLER hält es nämlich für denkbar, daß zwar für zwei Gegenstände a und b $m(a)=m(b)$ zutrifft, nicht jedoch $m(aJc) = m(bJc)$ ^{12a)} für einen dritten Gegenstand c, was in Widerspruch zum Prinzip der Additivität stünde.

Diese gängige These der analytischen Wissenschaftstheorie ist einfach zu widerlegen. Zunächst ist daran zu erinnern, daß Strecken und Größengleichheit von Strecken in der Idealwissenschaft Geometrie rein formentheoretisch definiert werden können. Daß die so definierte Größengleichheit eine Äquivalenzrelation ist, wird innerhalb der Geometrie bewiesen über die entsprechenden Eigenschaften der Kongruenzrelation für Strecken. Als logische Implikationen

12) STEGMÜLLER 1970, S. 55 f (Hervorheb. im Original)

12a) "aJc" bzw. "bJc" bezeichnet den aus der Kombination von a und c bzw. b und c entstandenen Gesamtkörper.

von Definitionen spielen hier empirische Erwägungen überhaupt keine Rolle.

Aber auch wenn wir nun zu Messungen und damit zu Realisaten von Strecken und starren Körpern, also zu realen Körpern übergehen, machen wir uns bei der Einführung eines metrischen Längenbegriffs (für reale Körper) nicht von der Annahme empirischer Hypothesen abhängig. Bei Messungen legen wir reale Körper geeignet aneinander und prüfen, ob sie gleichlang sind oder der eine länger als der andere ist. Daß die Relation "gleichlang" eine Äquivalenzrelation ist und daß die Relation "länger als" die Eigenschaften der Transitivität, der Irreflexivität und der Konnexität in Bezug auf die Relation "gleichlang" besitzt, ist wiederum nicht empirisch-hypothetisch zu unterstellen: Wenn ein Körper K gleichlang zu einem Körper K' ist, so hat man das zu prüfen, indem K in geeigneter Weise an K' angelegt wird. Die gleiche Konfiguration der Körper K und K' hat man aber auch herzustellen, wenn geprüft werden soll, daß K' mit K längengleich ist. Die Symmetrie von "gleichlang" läßt sich daher unmittelbar von den Einführungs- und Verwendungsregeln des Prädikators her begründen.

Der Prädikator "länger als" wird zusammen mit dem Prädikator "gleich lang" exemplarisch eingeführt, da jedesmal die gleiche Prüfhandlung des Nebeneinanderlegens auszuführen ist. Die Beispiele für den Prädikator "gleich lang" sind zugleich Gegenbeispiele für den Prädikator "länger als", es gilt also die Prädikatorenregel $x, y \in \text{gleich lang} \Rightarrow x, y \notin \text{länger}$. Die Irreflexivität von "länger als" bezüglich "längengleich" ist analytisch wahr, mithin keine empirische Hypothese über die "Beschaffenheit unserer Welt".

Um die Transitivität der Längengleichheit (für reale Körper) gerade nicht empirisch unterstellen zu müssen, sollen für indirekte Längenvergleiche starre Körper verwendet werden.

1. Starre Körper ist die Transitivität der Längen-

gleichheit beweisbar, wie wir oben gezeigt haben. Dort wurde weiter dafür argumentiert, daß bei einer durch zeitlich aufeinanderfolgende Messungen mit einem starren Körper festgestellten scheinbaren Verletzung der Transitivität behauptet werden darf, daß sich einer der beteiligten Körper in der Zwischenzeit verlängert oder verkürzt hat. Die Verwendung starrer Körper dient gerade dazu, einen solchen Schluß auf Längenveränderungen begründet ziehen zu dürfen. Die Transitivität der Längengleichheit ist also nicht empirisch. Ähnlich ist die Transitivität von "länger als" zu begründen.

Das Prinzip der Kommensurabilität ist ebenso wie das Prinzip der Additivität eine Meßvorschrift und als Handlungsanweisungen haben beide nicht den Status deskriptiver empirischer Hypothesen¹³⁾.

Aus dem Prinzip der Additivität folgt, wenn zwei Körper K_1 und K_2 längengleich sind (in Zeichen: $1(K_1) = 1(K_2)$), $1(KJK_1) = 1(K) + 1(K_1) = 1(K) + 1(K_2) = 1(KJK_2)$. Ergeben aufeinanderfolgende Messungen von K_1, K_2, K, KJK_1 und KJK_2 zwar $1(K_1) = 1(K_2)$, nicht aber $1(KJK_1) = 1(KJK_2)$, dann halten wir wiederum nicht die aus dem Prinzip der Additivität herleitbare Implikation für empirisch widerlegt und damit das Prinzip selber für nicht verträglich mit den Erfahrungen, wie der Analytiker STEGMÜLLER argumentieren würde, sondern wir werden die Güte des Meßinstruments überprüfen oder aber schließen, daß sich die Länge von mindestens einem der gemessenen Körper zwischen verschiedenen Messungen verändert hat.

Daß, um Quasiordnungen zu metrisieren, empirische Hypothesen akzeptiert werden müssen, kann nur behaupten, wer

13) Vgl. die entsprechende Behauptung bei STEGMÜLLER a.a.O. S. 58. Obwohl er die Behauptung, daß das Prinzip der Kommensurabilität niemals empirischen Meßverfahren widersprechen kann, zugibt, fehlt doch eine Begründung für seine Zustimmung. Jedenfalls begreift er das Prinzip nicht als Handlungsvorschrift.

einzig einen einheitlichen Empiriebegriff kennt, der am Beispiel physikalischer Wissensbildung entwickelt und dann mit seinen methodologischen Konnotationen auch von dem ganz anderen Typus der von konstruktiver Seite unterschiedenen lebensweltlichen Erfahrung prädiiziert wird. Es ist besonders das Verdienst von KAMBARTEL, aber auch von JANICH/KAMBARTEL/MITTELSTRASS diese zwei Erfahrungsarten sorgfältig auf ihre Unterschiede hin gegeneinander abgegrenzt und diese Unterscheidung auch terminologisch fixiert zu haben¹⁴⁾. Es ist die Unterscheidung einer physikalischen Empirie von der lebensweltlichen Erfahrung.

Für unsere weiteren Überlegungen ist es hilfreich, den Erfahrungsbegriff noch einmal zu differenzieren. Die lebensweltliche Erfahrung ist auf einer methodisch ersten Stufe aufzufassen als der schlichte, wiederholte Vollzug von Handlungen und Prädikationen. Demgegenüber gibt es eine explizit als Wissen verfügbare Erfahrung, wenn jemand eine ausdrücklich formulierte Behauptung kennt und akzeptiert hat und sich in seinem Handeln (genauer bei der Planung seines Handelns) an dem durch die Behauptung dargestellten Wissen orientiert.

Die Einführung der Quaisordnung gleichlang/länger als beruht selbstverständlich auf Erfahrung, versteht man darunter die lebensweltliche Erfahrung im Vollzug von Handlungen und Prädikationen. Im Kontext einer alltagsweltlichen¹⁵⁾ Praxis lernen wir, Körper in geeigneter

14) Die Unterscheidung ist deutlich herausgearbeitet in KAMBARTEL 1968, besonders in Kapitel 2, wo der lebensweltliche oder aristotelische Erfahrungsbegriff expliziert wird. Die Unterscheidung zwischen lebensweltlicher Erfahrung und physikalischer Empirie ist dann in JANICH/KAMBARTEL/MITTELSTRASS 1974, Kap. VI Begründungstheorie zu einem tragenden terminologischen Fundament für die methodische Rekonstruktion der Physik gemacht worden.

15) Der Ausdruck "alltagsweltlich" stammt von INHETVEEN und drückt noch deutlicher aus, daß diese Erfahrung noch keiner wissenschaftlichen Bemühungen im engeren Sinne bedarf.

Weise aneinanderzulegen und Längenvergleiche anzustellen. Mit dem Beherrschen der Prüfhandlungen vermögen wir zugleich, die Prädikatoren "gleich lang" und "länger als" von Körpern zu prädizieren.

Daß diese Erfahrung aber die Form eines expliziten generellen Wissens annimmt, also "eine empirisch-hypothetische Vermutung über die Beschaffenheit unserer Welt" beinhaltet, dies zu behaupten ist ebenso sinnlos wie irreführend.

Sinnlos in Bezug auf die alltagsweltliche Praxis ist eine solche ontologisch verallgemeinerte Hypothese "über die Beschaffenheit unserer Welt", weil sie ja nichts an Wissen dem hinzufügt, was wir nicht schon bereits durch die alltagsweltliche Erfahrung wissen (wissen im Sinne der expliziten Artikulation zutreffender elementarer Prädikationen) und im Vollzug von Handlungen und Prädikationen täglich neu erfahren: daß wir Körper auf ihre Längen hin unterscheiden können, daß Körper unterschiedliche Längen haben können, daß sich Längen von Körpern verändern können usw..

Sinnvoll wäre eine solche Behauptung in Bezug auf diese elementare Lebenstätigkeit erst, wenn die explizite Formulierung und Akzeptierung dieser "ontologischen Hypothese" den Vollzug dieser Lebenstätigkeit in dem Sinne neu orientieren könnte, daß die alltagsweltliche Praxis des Längenvergleichs dadurch verändert, genauer verbessert würde.

Nun ist aber schon die Formulierung, geschweige denn die Prüfung einer generellen Behauptung, in der etwas über Längen von Körpern ausgesagt wird, davon abhängig, daß wir Körpern die Prädikatoren "Gleich lang" und "länger als" zu- und absprechen können. Wie die Hypothese im einzelnen auch lauten mag, die alltagsweltliche Erfahrung im Vollzug der

Prädikation "länger als" und "gleich lang" kann durch sie begründet nicht revidiert werden, sondern umgekehrt bleibt die Hypothesenbildung auf diese Erfahrungsbasis verwiesen. Das ist nichts anderes als die Erläuterung einer methodisch-pragmatischen Ordnung.

Irreführend ist die Behauptung der Analytiker, weil Erfahrung hier nicht von physikalischen Messungen deutlich unterschieden wird und die fraglichen Hypothesen einfach stillschweigend ineingesetzt werden mit physikalischen Verlaufsgesetzen. Solche mangelnden Differenzierungen verleiten dann schnell zu der Auffassung, elementare Prädikationen seien bereits "theorienbeladen", jedes wissenschaftliche Erfahrungswissen müsse ansetzen mit einer Vielzahl von generellen Sätzen von empirischem Status, die Wissensbildung beginne mit ganzen Theorien usw. Der Boden für solche Meinungen wird schon an früher Stelle, wie wir jetzt sehen, vorbereitet.

Die Ausführungen mögen reichen, um die zentrale These der analytischen Wissenschaftstheorie zu widerlegen, daß der Aufbau eines metrischen Begriffssystems von Anfang an die Annahme genereller empirischer Behauptungen bedinge. Ein solcher Aufbau ist erfahrungsabhängig, aber nicht von einer physikalischen Empirie und empirischer Hypothesenbildung. Erfahrung durch tätigen Vollzug von (technischen) Handlungsschemata und Prädikationen steht methodisch am Anfang, wenn ein metrisches Begriffssystem für die Physik aufgebaut wird. Wir verfügen über ein solches Vermögen zu handeln und zu präzisieren. Es ist müßig festzustellen, daß die "Welt" anders aussehen könnte und wir Handlungen wie das Aneinanderlegen von Körpern nicht ausführen könnten. Die Welt ist nicht so, was wir tagtäglich neu erfahren.

3.1.2. Der Längen- und der Zeitbegriff in der Analyse der analytischen Wissenschaftstheorie

Oben wurde eine Definition des starren Körpers gegeben. Starrheit ist die Eigenschaft, die ein mit einer Kante versehener Meßkörper für die Streckenmessung hinreichend gut erfüllen soll. Auch die Analytiker¹⁶⁾ anerkennen, daß Längen mittels starrer Körper gemessen werden. Und auch für sie stellt sich die Aufgabe, den Begriff des starren Körpers zu definieren. Genau hier setzt unsere Kritik ein. Es verdient genauer festgehalten zu werden, wie STEGMÜLLER dieser Definitionsaufgabe zu Leibe rückt: Er beginnt mit einer Präzisierung unseres "intuitiven" Vorverständnisses von einem starren Körper. "Ein Stab s soll genau dann als starr bezeichnet werden, wenn der Abstand zwischen zwei beliebigen, auf s markierten Punkten P_1 und P_2 stets gleich bleibt"¹⁷⁾. Sofort wird jetzt das Gleichbleiben des Abstandes der zwei markierten Punkte aufgefaßt als eine Konstanz, die angeblich nur unter Benutzung eines sich nicht verändernden "starren" Körpers und einer durch ihn festgelegten Längenmetrik definierbar ist.

Nachdem STEGMÜLLER die "intuitive Vorstellung" von einem starren Körper zirkulär "präzisiert" hat, konstatiert er einen nicht eliminierbaren "Definitionszykel": "Einerseits soll der Begriff des starren Körpers dazu dienen, die Längeneinheit und Längengleichheit zu definieren; denn der Einheitsmaßstab soll ein starrer Körper sein. Andererseits wird dieser erst zu definierende Begriff der Längengleichheit bereits benützt, um den Begriff des star-

16) STEGMÜLLER ist auch bei der Behandlung des Längen- und des Zeitbegriffs ein zuverlässiger Rezensent der Diskussionen in der analytischen Wissenschaftstheorie, so daß wir durch seinen Text wiederum die Auffassung der Analytiker kennenlernen.

17) STEGMÜLLER 1970, S. 84, Hervorh. im Original

ren Körpers zu definieren"¹⁸⁾. Dies Argument genügt ihm im weiteren dann völlig, um von der "ursprünglichen fehlerhaften Intention", einen Begriff der "schlechthinnigen" oder "absoluten" Starrheit einzuführen, zu reden¹⁹⁾.

STEGMÜLLER umgeht den theoretischen Definitionszirkel, indem er einen Weg, Meßgeräte aufzufinden, einschlägt, den DINGLER Inzidenzmethode genannt hat. Es wird eine relative Starrheit von Körpern zueinander definiert. Relativ starr zueinander sind zwei Körper K und K', wenn jedes Segment auf K mit einem entsprechenden Segment auf K' längengleich ist und bleiben wird²⁰⁾. Man sieht sofort, daß die Behauptung, zwei konkrete Körper K und K' seien relativ starr zueinander, eine generelle empirische Hypothese ist.

Eine weitere Erfahrungstatsache erleichtert, wie STEGMÜLLER sagt, nun die Wahl eines geeigneten "Standardobjektes", also eines "starren" Körpers mit konventionell festgesetzter Einheitslänge. Es ist die "Tatsache", daß nur eine große Klassen von Körpern existiert, die relativ starr zueinander sind. Diese Objekte mögen z.B. aus Metall, aus Stein oder aus getrocknetem Holz bestehen. Da wir nicht alle Körper überprüfen können, ist auch diesmal wieder dasjenige, was wir Erfahrungstatsachen nennen, streng genommen eine empirische Hypothese,... . Das Motiv, als Einheitsmaßstab einen Körper aus dieser großen Klasse zu wählen, ist das gleiche wie jenes, das uns bestimmte einen Vorgang aus der großen Klasse äquivalenter periodischer Prozesse auszuzeichnen: Wir erzielen auf diese Weise eine möglichst einfache Formulierung der Naturgesetze"²¹⁾.

18) a.a.O., S. 84, im Original kursiv gedruckt

19) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 85 f.

20) STEGMÜLLER 1970, S. 84 f., statt "längengleich" sagt er "kongruent", das ist aber nur eine Differenz in der Wortwahl.

21) STEGMÜLLER 1970, S. 86, Hervorh. im Original

Mit dem Verweis auf die "große Klasse äquivalenter periodischer Prozesse" ist die der Einführung von Längenmeßgeräten völlig analoge Methode der Auffindung von Uhren zur Zeitmessung gemeint. Ein periodischer Prozeß wird dabei von STEGMÜLLER definiert als "ein sich wiederholender Vorgang". Zwei periodische Vorgänge V und V' heißen äquivalent, wenn das Verhältnis, daß auf n Wiederholungen von V m Wiederholungen von V' kommen, immer gleich bleibt. Die Feststellung der Äquivalenz zweier periodischer Vorgänge ist wiederum eine generelle empirische Behauptung. Eine empirische Hypothese ist auch, daß es nur eine einzige große Klasse zueinander äquivalenter periodischer Vorgänge gibt. Aus dieser Klasse wird ein Vorgang als Uhr für die Messung von Dauern ausgewählt.

Falsch an der Argumentation von STEGMÜLLER ist bereits die Behauptung, der Begriff des starren Körpers diene zur Definition der Längengleichheit und Längeneinheit. Die Längengleichheit von Strecken wird formentheoretisch über die Kongruenz definiert. Setzt man von der Geometrie als Idealwissenschaft ausgehend eine Meßpraxis mit realen Körpern in Gang, wird "längengleich" durch die schon mehrfach geschilderte Handlung geprüft, eine Meßlatte an einen anderen Körper anzulegen. Der bei Messungen zu- oder abzusprechende Prädikator "längengleich" ist also operativ-exemplarisch eingeführt, nicht aber über den Begriff des starren Körpers.

Starre Körper haben nichts mit der Definition der Längengleichheit zu tun, sondern sie werden gebraucht, um indirekte Längenvergleiche zwischen Körpern so zu ermöglichen, daß die Transitivität der Relationen "gleichlang" und "länger als" dabei gesichert ist.

Die Längeneinheit wiederum wird nicht über den Begriff des starren Körpers definiert, sondern sie wird verabredungsgemäß über ein beliebiges Streckenrealisat festge-

setzt. Für die Längenmessung werden dann hinreichend starre Körper hergestellt, die eine zu dieser "Einheitsstrecke" gleichlange gerade Meßkante aufweisen.

Falsch ist weiter an der STEGMÜLLERschen Argumentation, daß ein Definitionszirkel unvermeidbar sei. Die geometrische Definition des starren Körpers und die Definition der Uhr, die wir oben dargestellt haben, beweisen das Gegenteil. Es sind die analytischen Wissenschaftstheoretiker, die sich beharrlich weigern, diese Alternative zur empiristischen Inzidenzmethode überhaupt auch nur zur Kenntnis zu nehmen.

Daß alle starren Körper auch relativ zueinander starr sind und alle Uhren ein konstantes Gangverhältnis haben, sind keine empirischen Hypothesen über reale Körper. Es sind aus den formentheoretischen Definitionen beweisbare Sätze. Damit ist auch die Eindeutigkeit der Längen- und Zeitmessung nicht empirisch: diese Eindeutigkeit besagt, daß zwei verschiedene Längenmaßstäbe oder zwei verschiedene Uhren, sofern sie nur das Definiens der formentheoretischen Definitionen erfüllen, jeweils unabhängig voneinander dieselben Meßergebnisse erbringen werden, wenn unterstellt werden kann, daß die zu messenden Körper und Verläufe sich nicht ändern. Wenn z.B. K und K' zwei gleichlange starre Körper sind, dann ist K' zu jedem Körper gleichlang, zu dem dies K ist.

Damit werden Meßgeräte und Messungen allererst streng reproduzierbar. Wenn eine Meßlatte K starr ist und sie zweimal hintereinander an einen Körper K' angelegt wird, so folgt aus der Starrheit, daß die Wiederholung einer Messung kein anderes Ergebnis erbringen darf, es sei denn, K' habe sich in der Zwischenzeit verändert. Weiter sind wir bei Messungen und Wiederholungen von Messungen nicht auf das bestimmte Meßgerät K angewiesen, sondern kann die Messungen auch mit einem zu K gleichlangen, ebenfalls starren Meßgerät

K_1 wiederholen; nach der bewiesenen Eindeutigkeit wird ein Wechsel des Meßgerätes das Meßergebnis nicht beeinflussen, also verändern. Schließlich ist man bei der Messung von Länge und Zeit nicht einmal auf einen nur empirisch vorweisbaren Prototyp angewiesen, da die Längenmeßgeräte und die Uhren nominatorenfrei definiert sind.

Ein Analytiker kann nur schwerlich bestreiten, daß die Definitionen des starren Körpers und der Uhr formal korrekt sind, aber er könnte trotzdem den Einwand gegen sie geltend machen, die Definitionen würden uns nicht aus der Verlegenheit heraushelfen, wie wir denn empirisch aufweisbare starre Körper und Uhren finden können. Das Definiens der jeweiligen Definition enthalte nämlich kein "empirisch" prüfbares Kriterium, das auf konkrete empirische Körper unmittelbar anwendbar sei und eine Entscheidung darüber zulasse, ob der Körper ein geeignetes Meßgerät zur Längen- oder zur Dauermessung ist. Nach diesem Argument haben die Definitionen des starren Körpers und der Uhr gar keine Relevanz für die praktisch-technische Aufgabe, empirische Meßinstrumente tatsächlich bereitzustellen.

Wäre diese Beurteilung der formentheoretischen Definitionen zutreffen, so wäre in der Tat ihr praktischer Wert gleich Null. Die analytische Wissenschaftstheorie wäre in der technischen Problematik der Meßgeräteherstellung im Recht gegenüber einer nur akademischen, formentheoretischen Geometrie und Chronometrie. Es muß also noch gezeigt werden, daß und wie die Definitionen die Herstellung der Meßgeräte zumindest in einem ersten Schritt so anleiten, daß nicht auf Körper oder Vorgänge "aus den großen Äquivalenzklassen" zurückgegriffen werden muß, die per Beschluß als "starr" oder "gleichförmig" gelten.

Zuerst ist darauf hinzuweisen, daß die Behauptung, ein Körper K erfülle das Definiens der Definition für Starrheit, nicht beweisdefinit ist. Das liegt schon

— 2 —

darán, daß im Definiens über alle Bewegungen etwas ausgesagt wird, was empirisch niemals definitiv bewiesen werden kann. Da uns ein abschließbarer Nachweis für die Starrheit eines konkreten Körpers nicht möglich ist, sollte auch nicht von einer strengen Realisierung der Eigenschaft starr geredet werden²²⁾.

Sinnvoll dagegen ist es zu sagen, ein Körper realisiere hinreichend für eine jeweils pragmatisch-situationsspezifisch festgelegte Genauigkeit der Messung die relevante Meßgeräteeigenschaft, starr zu sein, oder führe eine gleichförmige Bewegung aus. Das meint, daß das Meßgerät in den Verwendungssituationen kein Verhalten zeigt, das Folgerungen aus dem Definiens der Meßgerätedefinition und den protophysikalischen Sätzen widerspricht. Denn es lassen sich aus der Definition und der protophysikalischen Theorie Folgerungen herleiten, die abschließbar für einen konkreten Körper überprüft werden können.

Oben hatten wir gesagt, daß zwei starre Körper zur Längenmessung euklidisch sein müssen: sie realisieren jeweils eine Strecke und, wenn die Strecken auf ihnen gleichlang sind, dann realisieren ihre Konfigurationen die geometrischen Formen der Parallel- und der Spiegelskongruenz. Der Nachweis, den wir gegenüber der analytischen Wissenschaftstheorie zu erbringen haben, ist also geführt, können wir zeigen, daß sich geometrische Formen hinreichend realisieren lassen, ohne doch in irgendeiner Weise eine Längeninvarianz unterstellen zu müssen.

Zur Realisation geometrischer Formen wird hartes Material gewählt, das protogeometrisch durch die schwache Transi-

22) "Davon, daß eine Herstellungspraxis ein Postulaten-system "strenge (gültig) realisiert, sei kann die Rede, wenn ihre Produkte das Postulaten-system erfüllen."; KAMBARTEL 1976, S. 163.

tivität²⁴⁾ bestimmt ist. Im Wesentlichen liefern dann schon Schleifverfahren²⁵⁾ und Schnitte die geometrischen Formen der Ebene, orthogonal aufeinander stehener Ebenen, der Geraden, der Halbgeraden, der Strecke und der Parallelität. Mit diesen Formen läßt sich weiter die Winkelhalbierung definieren, wobei die Definition zugleich eine Konstruktionsanweisung darstellt, wie man die Winkelerzeugung und Winkelhalbierung realisieren kann, benutzt man nur hinreichend genaue Realisate der vorangehenden geometrischen Formen. Entsprechend lassen sich die geometrische Form des Quadrats und daran anschließend die Parallel- und Spiegelungskongruenz realisieren. Damit sind alle geometrischen Formen definiert und stehen ausgehend vom Abschleifen harter Körper als hinreichend realisierbar zur Verfügung, die zur Definition des starren Körpers benötigt werden.

Wenn starre Körper zur Längenmessung gebaut werden, sucht man zunächst an harten Körpern gleichlange (das wird durch Passungen geprüft) Strecken zu realisieren. Für einzelne Verschiebungen der beiden Körper auf einer Ebene wird geprüft, ob sie sich dabei gemäß den Konstruktionsanweisungen für die Parallel- oder Spiegelungskongruenz konfigurieren lassen.

Für den Uhrenbau sind die Verhältnisse noch einfacher. Man baut mit einem Gerät zugleich mindestens eine Kopie und überprüft dann für verschiedene Stellungen der beiden Geräte ihre Ganggleichheit. Dies ist bei Geräten mit Zählwerken jederzeit möglich.

24) Vgl. Kap. 1, S.

25) Hier ist vor allem das berühmte Dreiplattenverfahren zu nennen, das auch heute noch bei der Ebenenherstellung benutzt wird. Die früheren, konstruktiv orientierten Definitionsversuche der Ebene gingen zum Teil davon aus, die Beschreibung des Schleifvorgangs direkt mit in die Definition aufzunehmen; vgl. etwa INHETVEEN 1977 und KATTHAGE 1975.

Damit ist gezeigt, daß ohne Längen- und Dauermessung eine "erste Generation" von hinreichend funktionstüchtigen Meßgeräten gebaut werden kann. Wenn später solche Meßgeräte und durch sie ermöglichte erste empirische Theorieteile dazu herangezogen werden, die Längen- und Dauermessung zu verbessern, so bleibt die methodische Ordnung gewahrt. Die formentheoretischen Definitionen und ihre Implikate fungieren weiter als Kriterien, an denen die Güte der Meßgeräte beurteilt wird, nur schließen die Überprüfungen, ob diese Kriterien erfüllt sind, auch den Gebrauch von Meßgeräten mit ein.

3.1.3. Die Vorteile metrischer Begriffe - eine Kritik der Argumente der Analytiker

Der analytischen Wissenschaftstheorie zufolge sollen in den Wissenschaften Systeme metrischer Begriffe vor qualitativen oder komparativen Terminologien bevorzugt werden. Die Analytiker sehen in einem System metrischer Begriffe die ausgereiftesten wissenschaftlichen Terminologien und begrüßen entsprechend eine Metrisierung als Vollendung des terminologischen Aufbaus, die grundsätzlich jede Wissenschaft anstreben soll.

Es sind im wesentlichen drei Vorteile, die nach analytischer Auffassung metrische Begriffe auszeichnen: sie erlauben die differenziertesten Beschreibungen (Unterscheidungen), die einfachste und genaueste Formulierung von Gesetzen und die extensive Anwendung der Mathematik²⁶⁾.

Gegen das Plädoyer der Analytiker, in dem allgemeine und formale Gesichtspunkte dafür geltend gemacht werden, warum metrische Begriffe den qualitativen und komparativen prin-

26) Vgl. HEMPEL 1974, S. 55f und STEGLÜLLER 1970, S. 98-109.

zipiell überlegen sein sollen, lassen sich m.E. folgende Bedenken richten:

- a) Die generelle und formale Auszeichnung trägt zum tieferen methodischen Verständnis gerade der Physik nichts bei; ja dadurch wird in einem unten dargelegten Sinne das Problem metrischer Begriffe eigentlich verfehlt;
- b) Für andere Wissenschaften liefern die wissenschaftstheoretischen Erörterungen über die "Vorteile metrischer Begriffe" gerade keine Gründe, den Aufbau der jeweiligen Terminologie mit der Metrisierung abzuschließen;
- c) Höchst bedenklich ist die ideologische Funktion, die solche wissenschaftstheoretischen Argumentationen im Wissenschaftsbetrieb haben.

ad a): Ein Vergleich zwischen qualitativen und metrischen Begriffsbildungen und den jeweils damit verbundenen Vorteilen ist nur sinnvoll, wenn dadurch Gründe für eine Entscheidung darüber beigebracht werden sollen, ein qualitatives oder ein metrisches Begriffssystem aufzubauen. Wo es aber eine Wahlmöglichkeit dieser Art überhaupt nicht gibt, sind solche Vergleiche für die in Frage stehende wissenschaftliche Disziplin unerheblich.

Das ist gerade bei der Mechanik der Fall. Rekapituliert man noch einmal die einzelnen Schritte der systematischen Argumentation dafür, daß der Mechanik die Aufgabe gestellt ist, ein Wissen darüber zu bilden, wie vollständig bestimmte Bewegungen reproduzierbar gemacht werden können, daß dazu dann weiter durch Bahnfunktionen dargestellte Bewegungsformen in der Kinematik konstruiert werden und daß schließlich Realisierungsversuche solcher Bewegungsformen messend überprüft werden, so ergibt sich, daß bei keinem Schritt im Aufbau der Mechanik bis zur Kinematik und zum Beginn der empirischen Mechanik die Alternative sich stellt, ein metrisches Begriffssystem zu wählen oder ein nicht-metrisches aufzubauen. Zu den fundamentalen Meßgrößen der

Physik gibt es keine qualitativen, klassifikatorischen oder komparativen Prädikatoren, mit denen wir dieselben Unterscheidungen im Hinblick auf das der Mechanik gesetzte Ziel artikulieren könnten. Solche Unterscheidungen wie "Länge" und "Dauer" überhaupt zu treffen, konstituiert eine Meßpraxis. Da die Alternative qualitativ-quantitativ fiktiv ist, ist der wissenschaftstheoretische Vergleich qualitativer mit metrischen Begriffsbildung für die Physik nicht weiter von Belang.

ad a) und b): Es ist trivialerweise wahr, daß metrische Begriffe differenziertere Beschreibungen ermöglichen als klassifikatorische oder komparative. Das liegt an der Verwendung des Terminus "differenzierter als" bei den Analytikern. Danach ist ein System von Prädikatoren $P_1, \dots, P_n$ differenzierter als ein Prädikator P , wenn aufgrund der terminologischen Regeln für alle $1 \leq i \leq n$ $x \in P_i \Rightarrow x \in P$ und für $i \neq j$ $x \in P_i \Rightarrow x \notin P_j$ gilt. Der metrische Begriff "Länge" ist in diesem Sinne "differenzierter" als die beiden zweistelligen Prädikatoren "gleichlang" und "länger als".

Bloß ist diese Behauptung kein geeignetes generelles Argument, um in jedem Fall den Übergang zu metrischen Begriffsbildungen zu begründen. Nicht jede weitere terminologische Differenzierung in dem obigen Sinne ist bereits für sich ein Fortschritt und von daher grundsätzlich anzustreben, wobei eine Metrisierung das Maximum an Differenzierungsmöglichkeiten eröffnet. Es bedarf vielmehr inhaltlicher, auf die jeweilige Wissenschaftsdisziplin bezogener Gründe, die auf einer generellen und nur formalen wissenschaftstheoretischen Stufe der Analyse von Begriffssystemen gar nicht auszumachen sind.

Es ist keineswegs so, daß wir uns deshalb für einen metrischen Längenbegriff entscheiden, damit wir differenzierte Sätze über Längen von Körpern aufstellen können. Vielmehr haben wir das Problem, unabhängig von der Transportierbarkeit und der Vielzahl der 'Längen', beliebige Strecken daraufhin prüfen zu können, ob sie längengleich sind, ob sie

um eine vorgegebene Strecke in der Länge differieren u.a.. Das sind inhaltliche Gründe für einen metrischen Längenbegriff und das Erfordernis differenzierter Beschreibungen ist hier inhaltlich-exemplarisch an den Zielen einer technischen Praxis bestimmt (z.B. eine feste Längendifferenz zwischen zwei Strecken technisch herzustellen). Daß ein solcher metrischer Prädikator "Länge" den Vorteil mit-sichbringt, differenzierter präzisieren zu können, gegenüber anderen, nicht-metrischen Längenbegriffen, ist keine sinnvolle Erhellung dieser Begriffsbildung.

Die Botanik und Zoologie sind Beispiele für Wissenschaften mit umfangreichen klassifikatorischen Begriffssystemen, die für die Unterscheidungsintentionen, für die wir sie entwickelt haben, völlig ausreichen, so daß, sie weiter zu differenzieren (in dem oben definierten formalen Sinne), sie nicht zugleich weiter verwissenschaftlichen würde.

Ist "Differenzierung" viel zu formal bestimmt, um apriori als Vorteil und Fortschritt in Betracht kommen zu können, hängt das Argument, Metrisierungen ermöglichen eine einfache und genaue Formulierung der Gesetzesaussagen, an der Voraussetzung, in jeder Wissenschaft sollten Gesetze aufgestellt werden. Das ist in der Tat die von der analytischen Wissenschaftstheorie dazu vertretenen Auffassung, und solange eine Einzelwissenschaft dieses Ziel noch nicht erreicht hat, gilt sie den Analytikern als wissenschaftlich unausgereift. Es würde zu weit führen, würden wir die Überlegungen hier ausbreiten, die die These entkräften, an jede Wissenschaft sei die Forderung nomologischer Erklärungs- und Voraussageleistungen zu stellen. Was wir nur festhalten wollen, ist der Einwand, daß die Einfachheit der mit metrischen Begriffen formulierten Gesetzesaussagen kein genereller Grund für eine Metrisierung ist.

Obwohl in der Physik selbstverständlich Gesetze formuliert werden und sie sicher die am weitesten mathematisierte Wissenschaft ist, stellen selbst für die Physik die von STEGMÜLLER und HEMPEL vorgebrachten Hinweise, metrische Begriffe

erlaubten die einfache und genaue Formulierung von Gesetzen und eine extensive Anwendung der Mathematik, den Gang einer begründenden Argumentation für metrische Begriffe schlicht auf den Kopf. Wir bemühen uns nicht deshalb darum, in der Physik schrittweise ein metrisches Begriffssystem aufzubauen, weil wir am methodischen Anfang eines begründeten Aufbaus der Physik bereits den Zweck auszeichnen können, Gesetzesaussagen in Form mathematischer Funktionsgleichungen anschreiben und darauf mathematische Theorien (z.B. die Theorie der Lösungen von Differentialgleichungen) anwenden zu wollen. Vielmehr verwenden wir in der Mechanik aus den eben dargestellten inhaltlichen Gründen für die Beschreibung der Bewegungsformen metrische Prädikatorenn. Und erst nachdem die Metrisierung der physikalischen Begriffsbildung längst begründet und beschlossene Sache ist, läßt sich für die Mathematisierung der Physik weiter argumentieren. Wir haben das oben getan, als wir dargelegt haben, wie die Aufgabe der Kinematik durch die Aufstellung von Bahnfunktionen gelöst werden kann. Die Bahnfunktionen lassen sich dann als mathematische Gegenstände, als differenzierbare Funktionen behandeln, auf die wir mathematische Operationen und Theorien anwenden.

Die Mathematisierung ist kein Grund für eine Metrisierung. Ist der Aufbau einer metrischen Terminologie aus inhaltlichen Gründen sinnvoll oder gar erforderlich, wird man sich den weiteren Vorteil der Mathematisierung der entsprechenden Disziplin zunutze machen.

ad c): Exkurs: Über die analytische Wissenschaftstheorie der Physik als bedenkliche wissenschaftspolitische Ideologie

Es könnte jemand die Ansicht vertreten, die hier kritisierten Texte von STEGMÜLLER und HEMPEL lohnten die aufwendige Kritik nicht, denn es sei zwar zuzugeben, daß sie für die Physik wenig aufschlußreich seien und

für den Entschluß zur Metrisierung im Ernst keine Gründe an die Hand lieferten, aber da man ja im Fall der Physik, wie in der Kritik selber dargelegt, inhaltliche und stichhaltige Begründungen für eine Metrisierung kenne, könne man STEGMÜLLERS und HEMPELS Argumente einfach auf sich beruhen lassen. Ich möchte dieser Ansicht widersprechen, da ich diese Texte keineswegs leichtnehmen kann: sie haben eindeutig eine ideologische Funktion innerhalb des Wissenschaftsbetriebs. Die Argumente von HEMPEL und STEGMÜLLER erheben nämlich die Metrisierung der Terminologie zu einer allgemeinen, für jede Wissenschaft verbindlichen Norm mit scheinbar allgemeinen, methodologischen Gründen, de facto aber schlagen sie Wissenschaft über den Leisten einer Methodologie der Physik. Diesen Trend nennt man schon seit längerem Szientismus.

Die den Szientismus bekräftigende Funktion genereller und formaler wissenschaftstheoretischer Aufzeichnungen metrischer Begriffsbildungen läßt sich an dem Text von HEMPEL gut demonstrieren: obwohl, auch in den Beispielen, weitgehend an der physikalischen Begriffsbildung die Einführung metrischer Begriffe analysiert wird, erscheint der Text doch in einer wissenschaftlichen Reihe mit dem Titel "Wissenschaftstheorie der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften", womit zumindest die Herausgeber der wissenschaftlichen Reihe glauben machen wollen, die physikalische Begriffsbildung sei methodisch auch paradigmatisch für sozialwissenschaftliche Terminologien und die Gründe für die Metrisierung, im Blick auf die Physik formuliert, könnten auch für die Sozialwissenschaften in Anspruch genommen werden. Das hat zur Folge, daß nicht mehr konkrete inhaltliche Gründe für jede Einzelwissenschaft neu angeführt werden müssen, ob ein metrisches Vokabular gewählt werden soll oder nicht, sondern Metrisierungen stehen jetzt bereits pauschal als "Höherentwicklungen" einer wissenschaftlichen Disziplin außer Frage. Ein Kulturwissenschaftler, der sich u.U. mit guten Gründen weigert, eine Metrisierung des Begriffssystems seiner Disziplin mit-

zumachen, hat einen schweren Stand angesichts eines wissenschaftspolitischen Klimas, in dem generelle und hochgradig methodologische Argumente den Szientismus absegnen und die Szene beherrschen, und leicht gerät der Kulturwissenschaftler dann in den Verdacht, ein wissenschaftlicher Hinterweltler zu sein. Der wissenschaftstheoretischen Affirmation des Szientismus kann man etwas von ihrer Überzeugungskraft nehmen, wenn man im Detail nachweist, wie wenig die wissenschaftstheoretischen Analysen schon der Physik gerecht werden. Ende des Exkurses.

3.2. Metrische Begriffe als theoretische Begriffe

3.2.1. Das analytische Konzept der theoretischen Begriffe - ein prinzipieller Einwand

Die Anfangsphase der analytischen Wissenschaftstheorie ist gekennzeichnet durch die Versuche des Logischen Empirismus, des "Wiener Kreises", ein sogenanntes Signifikanzkriterium zu entwickeln, mit dem sich sinnvolle erfahrungswissenschaftliche Sätze von sinnlosen, spekulativen, metaphysischen usw. abgrenzen lassen²⁷⁾. Alle vorgeschlagenen und in die Debatte eingebrachten Fassungen des Signifikanzkriteriums stellten sich in Bezug auf die mit ihm verfolgte Intention zugleich als zu eng und zu weit heraus. Zu eng, weil dadurch Sätze aus der Klasse der sinnvollen erfahrungswissenschaftlichen Aussagen ausgeschlossen wurden, die nach übereinstimmenden Vorverständnis der Wissenschaftstheoretiker auf jeden Fall in diese Klasse hineingehören, zu weit, weil wiederum Sätze zugelassen waren, die nach einhelligem Konsens unbedingt als metaphysische und sinnlose Sätze aus der Klasse der wissenschaftlichen Sätze herausfallen müssen.

27) Für eine ausführliche Darstellung der verschiedenen Versionen des Signifikanzkriteriums und der an ihnen geübten internen Kritik sei verwiesen auf STEGMÜLLER 1970, Kapitel III.

Daß die Bemühungen um ein adäquates Signifikanzkriterium schließlich scheiterten, hing eng damit zusammen, daß sich das genuin empiristische Programm zum Aufbau eines einheitlichen, wissenschaftlichen Begriffssystems nicht durchführen ließ. Nach diesem Programm, dessen Verwirklichung am konsequentesten und am detailliertesten von CARNAP²⁸⁾ in Angriff genommen worden ist, sollten alle sinnvollen wissenschaftlichen Begriffsbildungen auf der Basis einiger weniger Grundbegriffe, die sich auf "unmittelbar Gegebenes", auf unmittelbar "Beobachtbares" beziehen, "konstituiert" werden: d.h. alle mit Hilfe sinnvoller wissenschaftlicher Begriffe gebildeten Aussagen sollten durch ein terminologisches Regelsystem überführt werden können in (bedeutungsgleiche) Aussagen, die allein mit den wenigen Grundbegriffen formuliert werden können.

Hätte man das Programm des "Logischen Aufbaus der Welt" erfolgreich zum Abschluß bringen können, so wäre im Prinzip auch das Signifikanzproblem der empiristischen Wissenschaftsphilosophie ebenfalls gelöst gewesen: das Kriterium hätte lauten müssen, daß eine Aussage genau dann erfahrungswissenschaftlich sinnvoll ist, wenn sie nach den terminologischen Transformationsregeln des Konstitutionsystems der wissenschaftlichen Begriffe in eine Aussage über "Beobachtbares" überführt werden kann.

Das ursprüngliche empiristische Konstitutionsprogramm des wissenschaftlichen Begriffssystems scheiterte, weil sich vor allem die "hoch theoretischen" Begriffe der mathematisierten Naturwissenschaften nicht angemessen in seinem Rahmen rekonstruieren ließen. Im Gefolge dieser Schwierigkeit ließen die meisten Vertreter der analytischen Wissenschaftstheorie die Ausgangsvoraussetzung fallen, daß es

28) Vgl. CARNAP 1961, eine konstruktiv orientierte Kritik an CARNAPs Programm bringt KAMBARTEL 1968, S. 149-198.

eine einheitlich, definitorisch-linear aufgebaute Wissenschaftssprache gibt. An die Stelle dieser Ausgangsannahme trat nun das auch heute noch von den meisten Vertretern der analytischen Wissenschaftstheorie vertretene Zweistufenkonzept des wissenschaftlichen Sprachaufbaus.

Die Wissenschaftssprache zerfällt in zwei Teilsprachen, eine "vollverständliche" empiristische "Beobachtungssprache", in der alles experimentell Beobachtbare mitgeteilt werden kann, und eine sogenannte theoretische Sprache. Das deskriptive Vokabular der theoretischen Sprache wird nicht Begriff für Begriff explizit aufgebaut, sondern die theoretischen Begriffe kommen als bloße Zeichen zunächst in uninterpretierten Zeichen- oder Formelreihen, den Axiomen des theoretischen Teils der entsprechenden wissenschaftlichen Theorie vor. Dieses Formelsystem wird durch sogenannte Korrespondenzregeln mit der Beobachtungssprache verknüpft, so daß aus den Axiomen, beobachtungssprachlichen Aussagen und den Korrespondenzregeln weitere rein beobachtungssprachliche Sätze hergeleitet werden können. Von den Korrespondenzregeln wird gesagt, daß sie den theoriesprachlichen Teil einer wissenschaftlichen Theorie partiell interpretieren, weil sie zwar den theoretischen Formeln insgesamt beobachtungssprachlich formulierte, d.h. "vollverständliche" Implikate verschaffen, nicht aber jeden einzelnen theoretischen Term aus den Formeln und nicht jede einzelne Formel semantisch an die vollverständliche Beobachtungssprache anschließen.

Zweierlei ist noch besonders festzuhalten:

- wie wir noch genauer sehen werden ist die Grenzziehung zwischen der Beobachtungssprache und der theoretischen Sprache nach Auffassung der Analytiker eine Sache von Beschlüssen und Übereinkünften der Wissenschaftler;
- die theoretischen Begriffe sind nur negativ ausgegrenzt als solche, die sich nicht in der "vollverständlichen"

Beobachtungssprache definieren lassen²⁹⁾.

Die skizzierte Einführung der theoretischen Begriffe, wie sie nach dem Zweistufenkonzept vorgesehen ist, wird u.a. nur deshalb als semantische Bestimmung der theoretischen Terme zugelassen, weil die Vertreter der analytischen Wissenschaftstheorie der aus der mathematischen Grundlagendiskussion herrührenden Vorstellung anhängen, neben der traditionellen Begriffseinführung durch explizite Definition ließen sich Begriffe auch durch ihr Vorkommen in formalen Axiomensystemen implizit definieren. KAMBARTEL hat durch seine Analyse der Kontroverse zwischen FREGE und HILBERT über HILBERTs "Grundlagen der Geometrie" den Irrtum der These aufgedeckt, implizite Definitionen seien so etwas wie semantische Bedeutungszuschreibungen für Begriffe³⁰⁾. Auf diesen Irrtum werden wir, soweit er auch dem Zweistufenkonzept des wissenschaftlichen Sprachaufbaus zugrundeliegt, nicht weiter eingehen.

Vielmehr werden wir einen prinzipiellen Einwand gegen das Konzept der theoretischen Begriffe im Folgenden jetzt vortragen. Mit dem Zweistufenkonzept der Wissenschaftssprache ist die analytische Wissenschaftstheorie ziemlich drastisch abgerückt von begründeten Methoden semantischer Begriffsbestimmungen. Diese Methoden machen zwei Unterscheidungen bzw. Voraussetzungen, die im Zweistufenkonzept preisgegeben sind:

- es muß unterschieden werden zwischen der Einführung eines Begriffs und den terminologischen Regeln, die seine Verwendung festlegen, und der Verwendung des Begriffs in

29) Zum Zweistufenkonzept der Wissenschaftssprache vgl. die Darstellung in STEGMÜLLER 1970, Kap. V. Als wichtigste Originalarbeiten sind zu nennen CARNAPs Aufsatz "The Methodological Character of Theoretical Concepts" 1956 und HEMPEL "Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft" mit dem Nachwort

30) Vgl. KAMBARTEL 1968, S. 154-173.

Behauptungen zum Zweck der Wissensbildung (im Fall nicht-normativer, deskriptiver Wissensbildung);

- nur wenn die Bedeutung der in einer Aussage vorkommenden Begriffe bereits festgelegt ist, kann die Aussage verstanden und entsprechend geprüft bzw. für ihre Annahme oder Verwerfung argumentiert werden³¹⁾.

In welchem Sinne nun ist es unverzichtbar, die Unterscheidung zwischen einer begriffseinführenden Rede und einer begriffsverwendenden Rede aufrechtzuerhalten? Die Antwort auf diese Frage ist m.E. ganz prinzipieller Natur: weil ohne eine solche Unterscheidung die spezifische Leistung menschlicher Rede, nämlich situationsdistanzierte, handlungsorientierende Verständigung verlorengeht.

So kann mir eine andere Person einen Ort beschreiben, an dem ich noch nie gewesen bin, und doch kann ich ihre Beschreibung verstehen in dem handlungsorientierenden Sinne, daß ich den Ort nach der Beschreibung aufsuchen und als den mir beschriebenen "wiedererkennen" kann. Das kann ich nur, wenn die Rede nicht begriffseinführend ist. Wäre sie es, müßte ich mich zusammen mit der Person an den Ort begeben, da ich nicht wissen kann, welchen Ort die andere Person mit ihrer Beschreibung meint.

Oder jemand kann mich dazu auffordern, die Wände eines bestimmten Zimmers grün zu streichen, ohne daß wir uns aktuell in dem Zimmer gerade aufhalten. Erst später, nachdem ich das Zimmer grün gestrichen habe, erweist sich u.U. explizit - etwa wenn der andere das Zimmer besichtigt -, daß ich verstanden habe, was er mit seiner Aufforderung gemeint hat. Wieder ist schnell einzusehen, daß die durch situationsdistanziertes Reden erst möglich gewordene Praxis davon abhängig ist, daß keine begriffseinführenden Reden

31) entfällt

vorgetragen werden.

Distanzierung von Situationen in der Rede findet nicht nur statt in dem Sinne, daß wir unser aktuelles verhaltensmäßiges "Verstricktsein" in Situationen aufheben zugunsten einer diese Situation bedenkenden Rede, sondern auch in dem Sinne, daß wir uns redend Situationen vergegenwärtigen können, in denen wir aktuell überhaupt nicht stehen, sei es wegen einer räumlichen Entfernung, sei es, weil die Situationen zeitlich in der Vergangenheit oder in der Zukunft liegen. Und obwohl eine Situation aktuell für uns gar nicht verfügbar ist, können wir sie doch beschreiben und damit verstehen, welche Situation gemeint ist, sind die für die Beschreibung benutzten Begriffe zuvor eingeführt worden.

Was wir bisher am Beispiel illustriert haben, daß nämlich eine situationsdistanzierte handlungsorientierende (Selbst-) Verständigung auf sorgsame Einführungen von Wörtern angewiesen ist, wollen wir jetzt allgemeiner für den Fall der Prädikatoren und der mit ihnen formulierten Situationsbeschreibungen durchdenken.

Bei den exemplarisch eingeführten Prädikatoren richten wir unser Augenmerk auf drei Sachverhalte:

- 1) In einer Gruppe G wird in endlich vielen geeigneten Situationen mit deiktischen Handlungen ein Prädikator P bestimmten Gegenständen zu- oder abgesprochen. Die eben erwähnten Gegenstände müssen dabei "unmittelbar" nicht-sprachlich oder sprachlich aufweisbar sein. Es werden also in der Einführungssituation endlich viele Prädikationen $N \subset P$ bzw. $N \subset' P$ geäußert und von den Mitgliedern von G explizit als mit einer richtigen Verwendung von P in Einklang stehend ausgezeichnet.

- 2) Aufgrund der nach 1) erfolgenden Einführung des Prädikators P soll eine Fortsetzung von Prädikationen mit P auf "neue" Gegenstände möglich sein³²⁾. Für diese Fortsetzung soll im einzelnen gelten;
- a) die "neuen" Prädikationen $N \in P$ bzw. $N \in' P$ kommen nicht schon in den Einführungssituationen von 1) vor;
 - b) die Prädikationen $N \in P$ bzw. $N \in' P$ sind Bestandteil sinnvoller Sprechakte³³⁾. Sinnvoll sind solche Sprechakte, wenn das durch Beschreibungen, Aufforderungen und andere Sprechakte verfaßte und ermöglichte Handeln als eine Zwecke erfüllende und bewahrende Praxis gelingt;
 - c) daß die Äußerung der Sprechakte Teil einer sinnvollen Praxis ist, ist nicht davon abhängig, daß für die in den Sprechakten vollzogenen Prädikationen die prädi-zierten Gegenstände unmittelbar verfügbar sind, wie das der Fall ist bei den Worteinführungssituationen, oder daß in jedem Fall zunächst eine explizite Einigung darüber erzielt werden muß, ob die Prädikation zutreffend ist.
- 3) Die in 2) angesprochene Fortsetzung von Prädikationen über die Einführungssituationen hinaus soll der situationsdistanzierten handlungsorientierenden Verständigung in "neuen" Situationen dienen, die zum Zeitpunkt der Einführung von P weder nicht-sprachlich noch sprachlich vorweggenommen werden können. Insbesondere bedeutet das, daß die Annahme einer Prädikation, die nicht zur Einführung von P herangezogen wird, nicht auf ein schematisches Operieren mit den Prädikationen der Einführungssituationen zurückführbar ist. Es gibt kein Regelsystem R, das alle wahren Prädisierungen aus den endlich vielen Prädikationen der Einführungssituation herzustellen gestattet.

32) Vgl. KAMBARTEL 1976, S. 123

33) SEARLE 1971 und KAMLAH/LORENZEN 1973, VI. Kapitel:
Zur Pragmatik der Aussage

Der Einführungsschritt 1) ist in der Literatur der konstruktiven Wissenschaftstheorie schon so oft dargestellt und analysiert worden, daß wir uns hierzu nicht mehr äußern müssen. Wir wenden uns deshalb gleich den Punkten 2) und 3) zu. In 2) ist von der Möglichkeit einer Fortsetzung der Prädikation über den ursprünglichen Beispielsbereich hinaus die Rede. Das ist so genau zu nehmen wie es formuliert ist. Das in 1) skizzierte Verfahren der exemplarischen Einführung wie auch jedes andere Worteführungsverfahren können niemals sicherstellen, daß eine Übereinkunft über jede mit P vollzogene Prädizierung jederzeit ohne weiteres besteht oder sich erreichen läßt. Aber nach aller unserer Erfahrung dürfen wir doch mit Recht erwarten, daß sich bei einer sorgsam exemplarischen Einführung eines Prädikators die in 2) angesprochene situationsdistanzierte Verständigung einstellen wird.

Vergleicht man das Einführungsverfahren für theoretische Begriffe, so wie es die analytischen Wissenschaftstheoretiker vorschlagen, mit dem eben dargestellten Verfahren, Prädikatoren einzuführen, so ergibt sich: Ein theoretischer Begriff T im Sinne der analytischen Wissenschaftstheorie ist kein Prädikator für eine situationsdistanzierte, handlungsorientierende Beschreibung relevanter Situationen.

Erstens ist nämlich ein theoretischer Begriff T schon seiner ihm zugewiesenen syntaktischen Stellung nach kein in Elementaraussagen der Form $N \in T$ bzw. $N \in 'T$ vorkommender Prädikator, tritt er doch nur in logisch komplexen, theoretischen Formeln auf.

Zweitens werden bei der Einführung von T weder nicht-sprachlich noch sprachlich Gegenstände aufgezeigt, von denen er prädiert wird. Nicht-sprachlich werden Gegenstände in Einführungssituationen aufgewiesen, indem im Fall von Handlungsprädikatoren Handlungsschemata aktualisiert werden³⁴⁾

34) Vgl. die detaillierte Darstellung einer Einführungssituation bei K. LORENZ 1970, S. 167ff.

oder bei Dingprädikatorenn eindeutige Hinweishandlungen die Identifizierung der Gegenstände leisten. Diese Handlungsschemata sind unabhängig davon ausführbar, ob dabei geredet oder gedacht wird. Ersichtlich unterbleibt bei der Einführung theoretischer Begriffe ein solcher nicht-sprachlicher Aufweis von Gegenständen, da ja allein eine endliche Anzahl von Zeichenreihen (Formeln) angegeben werden, in denen der Ausdruck T vorkommt.

Aber auch von nur sprachlich aufweisbaren Gegenständen wird T nicht zu präzisieren gelernt bei der Einführung. Nur sprachlich aufweisbare Gegenstände sind durch Rede erzeugt und sind ausschließlich in dem Sinne gegeben, daß solche Reden (Sätze) von Personen geäußert werden. Alle Abstrakta wie Zahlen (im Gegensatz zu Strichlisten), Mengen, Sachverhalte, Begriffe usw., aber auch die geometrischen Punkte, Geraden und Ebenen sind theoretische Gegenstände, wie man sie auch nennen könnte. Theoretische Gegenstände, so kann allgemein formuliert werden, erzeugt der Sprecher dadurch, daß er sich bei seinen Aussagen über einen Gegenstand N auf Aussagen $A(N)$ mit einer angegebenen Eigenschaft beschränkt und diese Beschränkung auf bestimmte Aussageformen $A(x)$ als ein Reden über einen neuen, theoretischen Gegenstand N' auszeichnet³⁵⁾.

Beim Übergang zu theoretischen Gegenständen müssen die fraglichen Aussageformen bereits terminologisch zur Verfügung stehen, von denen dann einige besonders ausgezeichnet werden. Daß ein theoretischer Begriff T von theoretischen Gegenständen präzisiert wird, erfordert den Nachweis, daß die Aussageform $T(x)$ die zur Konstituierung der

35) Im Fall der Abstraktion ist diese Eigenschaft eine Invarianz der Aussageform in Bezug auf eine Äquivalenzrelation, im Fall der Geometrie z.B. die Beschränkung auf die beweisbaren logischen Implikationen aus den Definitionen.

theoretischen Gegenstände fragliche Eigenschaft aufweist. Ein solcher Nachweis kann im Fall theoretischer Begriffe schon deshalb nicht geführt werden, weil T als Prädikator gar nicht eingeführt ist, sondern nur Bestandteil uninterpretierter Zeichenreihen ist, die daher auf entsprechende Eigenschaften nicht geprüft werden können. Allenfalls kann die Eigenschaft unbegründet "axiomatisch postuliert" werden.

Drittens ist auch der Punkt 3) bei dem von den analytischen Wissenschaftstheoretikern vorgesehenen Einführungsverfahren für theoretische Begriffe explizit verletzt. Für theoretische Begriffe sieht man ausdrücklich vor, daß für die Annahme einer T enthaltenen Aussage ihre Herleitbarkeit aus den axiomatisch gesetzten, endlich vielen theoretischen Formeln mittels logisch-mathematischer Deduktionen und der Korrespondenzregeln notwendige Bedingung ist. Mit einem theoretischen Begriff T können daher nicht Situationen beschrieben werden, die nicht schon durch die T einführenden theoretischen Formeln deduktiv vorweggenommen und festgelegt sind.

Der letzte Punkt macht endgültig deutlich, daß theoretische Begriffe nicht den Status von Prädikatoren für eine situationsdistanzierte, handlungsorientierende Beschreibung von Situationen haben, also innerhalb des Begriffssystems einer Theorie keine deskriptiv-präzifizierende Funktion besitzen. Sie sind viel eher zu fassen als syntaktisch-logische Konstruktionen, durch die Erklärungen und Prognosen, die mit einer Theorie geleistet werden sollen, als möglichst übersichtliches schematisches Operieren innerhalb eines Formelkalküls erstellt werden können.

Dieses vorläufige Ergebnis der Untersuchung theoretischer Begriffe zeigt weiter, daß die grundlegenden metrischen Begriffe der Kinematik, nämlich Länge und Dauer, mit denen die Bewegungen und Bewegungsformen und ihre Realisierungen

beschreiben, keine theoretischen Begriffe sein können. Daß eine solche Rekonstruktion des kinematischen Begriffssystems ganz unangemessen ist, wird vollends offenkundig werden, wenn wir uns im nächsten Abschnitt den von den Analytikern vorgetragenen Gründen zuwenden, warum alle metrischen Begriffe theoretische Begriffe sind. Soweit theoretische Begriffe als syntaktisch-logische Konstrukte zu verstehen sind, durch die Erklärungen und Prognosen vereinfacht schematisch erstellt werden können, kommen wir auf diese Deutung nochmals bei der Diskussion des Massenbegriffs und des SNEEDschen Theoretizitätskriteriums zurück.

Indirekt und terminologisch verstohlen wird der eben formulierte Einwand gegen die Konstruktion theoretischer Begriffe auch von Seiten der Analytiker bestätigt, wenn sie die sogenannte Beobachtungssprache im Gegensatz zur theoretischen Sprache als "vollverständlich" kennzeichnen³⁶⁾. Die Wendung "vollverständliche Beobachtungssprache" ist dabei wohl zu verstehen im Sinne unserer oben entwickelten Auffassung, daß Begriffe (Prädikatoren) die Beschreibung (Unterscheidung) von Situationen im Hinblick auf eine situationsdistanzierte handlungsorientierende (Selbst-) Verständigung leisten. Bloß muß man sich gegen den suggestiven Schluß, den die Wendung "vollverständliche Beobachtungssprache" nahelegt, wenden, nämlich daß die theoretischen Begriffe auch Begriffe im herkömmlichen Sinne sind, nur im Gegensatz zum beobachtungssprachlichen Vokabular weniger semantisch festgelegt oder eben nur partiell "verständlich".

Der Diskussion innerhalb der analytischen Wissenschaftstheorie über die theoretischen Begriffe läßt sich die Einsicht entnehmen, daß die traditionelle Definitionslehre

36) Von "Vollverständlichkeit" der Beobachtungssprache redet z.B. STEGEMÜLLER 1970 in seiner Darstellung des CARNAPschen Zweistufenkonzepts der physikalistischen Wissenschaftssprachen.

für eine Rekonstruktion des begrifflichen Vokabulars der Physik und anderer mathematisierter wissenschaftlicher Theorien keineswegs hinreicht. Aber angesichts der Beschränktheit der traditionellen Definitionslhre muß man nicht gleich seine Zuflucht zu Einführungsverfahren nehmen, durch die die Möglichkeit verständlicher und verständiger Rede überhaupt preisgegeben werden.

3.2.2. Diskussion der Gründe für die Rekonstruktion metrischer Begriffe als theoretische Konstrukte

Zwei Probleme sind es, die die Analytiker zu der Auffassung greifen lassen, metrische Begriffe seien theoretische Terme: zum einen ist es der Sachverhalt, daß in physikalischen Theorien irrationalzahlige Werte für die Meßgrößen zugelassen sind, obgleich nach dem Prinzip der Kommensurabilität Messungen nur rationalzahlige Meßdaten liefern; zum anderen ist es der Umstand, daß ein metrischer Begriff in der Sicht der Analytiker durch verschiedene Meßverfahren aufgrund empirisch-physikalischer Theorien operationalisiert werden kann³⁷⁾.

Daß der erste Grund nicht wirklich zwingend ist, die Rekonstruktion metrischer Begriffe als theoretische Konstrukte zu motivieren, wird von Analytikern eingeräumt, allerdings mit einer Begründung, die ihrerseits fehlerhaft ist, trotzdem eine kritische Analyse verdient, weil daran weitere gravierende Differenzen zwischen Analytikern und Konstruktivisten im Metrisierungskonzept zu Tage treten.

Das Problem irrationalzahliger Meßwerte läuft für den Längenbegriff zum Beispiel auf die Frage hinaus, wie ein Satz der Form $l(K)=s$ (in Worten: K hat die Länge s) für ein irrationalzahliges s begründet werden kann. Ob ein metrischer Begriff mit reellwertigen Werten zum Vokabular

37) Vgl. für das Folgende STEGMÜLLER 1970, S. 239-251

der "vollverständlichen Beobachtungssprache" gehören kann, wird von STEGMÜLLER in zwei Teilfragen behandelt:

- a) "Kann man für einen vorliegenden metrischen Begriff endliche viele beobachtungsmäßige (allgemein: empirische) Kriterien angeben?";
- b) "Läßt sich der metrische Begriff in der Beobachtungssprache definieren?"³⁸⁾

STEGMÜLLER verweist darauf, daß nur eine negative Antwort auf die Frage b) den Wissenschaftstheoretiker dazu zwingt, den metrischen Begriff als theoretischen Begriff zu rekonstruieren. Tatsächlich aber fällt die Antwort auf Frage b) positiv aus³⁹⁾. Nach STEGMÜLLER muß nämlich nur die Beobachtungssprache mit einem hinreichend starken "logisch-mathematischen Apparat" versehen werden. Der "logisch-mathematische Apparat" muß die begrifflichen und logischen Mittel enthalten, die erforderlich sind, um die reellen Zahlen entweder algebraisch-axiomatisch oder durch die Konstruktion rationaler Cauchy-Folgen definieren zu können⁴⁰⁾. Nur die letztere Einführungsweise ist für einen Konstruktivisten akzeptabel⁴¹⁾.

Stehen die logisch-mathematischen Mittel bereit, um über Cauchy-Folgen reelle Zahlen konstruieren zu können, dann erhält nach STEGMÜLLER die Behauptung " $l(K)=s$ " das folgende Definiens:

"Das durch die Punkte x und y bestimmte Segment enthält eine unendliche Folge von Punkten $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$, so daß gilt:

- (a) x_i liegt zwischen x und y und für jedes i liegt x_{i+1} zwischen x_i und y ;

38) STEGMÜLLER 1970, S. 248 (hervorheb. im Original)

39) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 248f

40) a.a.O., S. 241-247

41) Zur konstruktiven Einführung der reellen Zahlen vgl. LORENZEN 1965, Kap. II.

- (b) für jedes Segment K von rationaler Länge existiert ein n , so daß für alle $i > n$ die durch die Punktpaare (x_i, y) bestimmten Segmente kürzer sind als K ;
(c) die Längen der Segmente, die durch die Punktpaare (x, x_i) bestimmt sind, bilden mit wachsendem i eine rationale Folge mit dem Grenzwert s "⁴²⁾.

Legt man nun einer Person zur Einführung von " $l(K)=s$ " mit irrationalzahligem s die STEGMÜLLERSche Definition vor, so wird sie sehr schnell merken, daß sie eine Behauptung dieser Form aufgrund des Definirens begründet nicht behaupten kann. Um den Teil (c) der STEGMÜLLERSchen Definition als erfüllt nachweisen zu können, muß die Folge der Längen der Strecken (x, x_i) durch eine Funktion $f(i)=l((x, x_i))$ gegeben sein, denn nur so kann der ja rein mathematisch (mittels Abschätzung) zu führende Beweis der Konvergenz der Folge geführt werden. Auf dem durch Stellen markierten "Segment" eines konkreten Körpers kann ich jedoch nicht unendliche viele Punkte mittels eines geeigneten mathematischen Bildungsgesetzes markieren.

STEGMÜLLER wird dem entgegenhalten, wir würden hier nur explizieren, was er selber in Beantwortung der Teilfrage a) zugibt: daß es nicht "endlich viele beobachtungsmäßige Kriterien" für den Längenbegriff gäbe. Was soll aber eine Definition schon nützen, wenn im Definirens Aussagen behauptet werden, die so, wie sie dort formuliert sind, nicht nur rein "beobachtungsmäßig" nicht überprüft werden können, sondern so eben überhaupt nicht? Tatsächlich begründet niemand eine Behauptung $l(K)=s$ (s irrational), wo K wohlgermerkt ein realer, konkreter Körper ist, indem er schrittweise die drei Teilbehauptungen des STEGMÜLLERSchen Definirens nachweist.

Wir können uns das an einem Beispiel schnell klar machen. Ich kann zum Beispiel die Bahn, auf der sich ein Körper bewegen soll, so konstruieren, daß ich zunächst ein Qua-

42) STEGMÜLLER 1970, S. 247f

drat mit der Einheitslänge als Länge der Seiten konstruiere (durch konkrete Körper hinreichend genau realisiere) und die durch eine hinreichend gerade Schiene realisierte Diagonale als Bahn nehme. Wenn ich diese Konstruktion hinreichend sorgfältig verwirklicht habe, dann darf ich behaupten, die Bahn habe eine Länge der Größe $\sqrt{2}$. Lasse ich jetzt weiter auf der Bahn sich einen Körper gleichförmig derart bewegen, daß er in einer Zeiteinheit eine Längeneinheit zurücklegt, dann ist wieder die Behauptung begründet, der Körper brauche zum Durchlaufen der Bahn eine Zeitdauer der Größe $\sqrt{2}$.

Verallgemeinert gesprochen: eine Behauptung von der Form, eine Länge oder Zeitdauer habe einen festen irrationalen Wert, wird nicht unmittelbar (durch eine entsprechende Messung) geprüft. Sie wird stets aufgrund einer Argumentation akzeptiert oder verworfen. Dabei hat die Argumentation die Form, daß aus

- Meßresultaten, die in entsprechenden Elementaraussagen niedergelegt sind,
- der Unterstellung, daß durch eine empirisch aufweisbare Konstellation von Körpern eine rein geometrisch-chronometrisch beschreibbare Konstruktion hinreichend genau realisiert ist, und aus
- den apriorischen Sätzen der Geometrie und Chronometrie auf den irrationalen Wert logisch geschlossen wird. Die bei irrationalen s allein durch Rekurs auf ausformulierte und bereits begründete Theorien mögliche Annahme oder Verwerfung einer Aussage der Art $l(K)=S$ wäre ein wirklich einsichtiger Grund, den Längenbegriff theoretisch zu nennen. Theoretisch, da er nur im Rahmen von Geometrie, Chronometrie und Analysis vollständig eingeführt werden kann, wobei selbstverständlich diese Einführung das Prinzip der methodischen Ordnung nicht verletzt.

Wie gesagt erachtet STEGMÜLLER die Irrationalzahligkeit der Meßgrößen selber nicht für einen zwingenden Grund,

metrischen Begriffen den Status eines theoretischen Terms zuzuerkennen. Kommen wir daher jetzt zu dem zweiten Grund. STEGMÜLLER beginnt mit dem Argument, daß "bei Vorliegen von n verschiedenen Verfahren zur Einführung eines quantitativen Begriffs Q , etwa 10 verschiedener Verfahren zur Längenmessung, gar nicht mehr von dem quantitativen Begriff Q gesprochen werden darf, sondern daß man von n Begriffen $Q_1, \dots, Q_n$ reden muß, also z.B. von 10 verschiedenen Längenbegriffen". "Daß diese Begriffe untereinander äquivalent (extensionsgleich) sind, bildet keine logische Notwendigkeit, sondern ist eine empirische Tatsache, genauer: eine empirisch-hypothetische naturgesetzliche Annahme"⁴³⁾.

Um den Gebrauch des bestimmten Artikels für Meßgrößen in der Physik nicht verbieten zu müssen oder zumindest auf eine komplizierte Weise rechtfertigen zu müssen, bietet sich nach STEGMÜLLER die Lösung an, "quantitative Begriffe als theoretische Konstruktionen zu interpretieren". "Nur auf diese Weise läßt sich die Tatsache, daß vollkommen verschiedene Meßverfahren existieren, mit der Konvention in Einklang bringen, von ein und derselben Größe zu sprechen. Man muß dann allerdings den Gedanken fallen lassen, daß operationale Meßverfahren eine Größe auch definieren. Nur Empiristen älteren Schlages dürfte es schwer fallen, die Forderung nach expliziter Definierbarkeit quantitativer Begriffe mit Hilfe von Begriffen der Beobachtungssprache preiszugeben"⁴⁴⁾.

Es sei MV_1 das Meßverfahren, durch das der metrische Prädiktor m_1 eingeführt wird, d.h. $m_1(K_1, \dots, K_n)$ wird durch Anwendung von MV_1 gemessen. Die Rede von der durch MV_1 gemessenen Meßgröße M_1 ist durch Abstraktion leicht rekonstruierbar: beschränkt man sich in Aussagen $A(K_1, \dots, K_n)$, in denen Ausdrücke der Form $m_1(K_1, \dots, K_n)$ vorkommen, auf solche, die

43) STEGMÜLLER 1970, S.249, Hervorh. im Original

44) STEGMÜLLER 1970, S. 250, Hervorh. im Original

wahr bleiben, wenn man $K_1, \dots, K_n$ ersetzt durch $K'_1, \dots, K'_n$ mit $m_1(K_1, \dots, K_n) = m_1(K'_1, \dots, K'_n)$, so kann man diese Beschränkung auf invariante Aussagen als ein Reden über die (abstrakte) Meßgröße M_1 kennzeichnen. Es ist dann auch klar, was es heißt, MV_1 messe M_1 .

Mit der Äquivalenz der Meßverfahren meint STEGMÜLLER, daß wir einen metrischen Begriff m_2 mit einem dazugehörenden Meßverfahren MV_2 haben, das von MV_1 verschieden ist, und dazu ein geprüftes empirisches Verlaufsgesetz $m_1 = f(m_2)$. Den Wert von $m_1(K_1, \dots, K_n)$ können wir ermitteln, indem wir $m_2(K_1, \dots, K_n)$ nach MV_2 messen und $f(m_2(K_1, \dots, K_n))$ berechnen.

An diesem Vorgehen ist nun nichts problematisch, solange die methodische Ordnung bei der Aufstellung der empirischen Funktionsgleichung $m_1 = f(m_2)$ gewahrt bleibt. Es ist dann ganz unbedenklich zu sagen, MV_2 messe indirekt M_1 , was ja nichts anderes bedeutet als die Berechnung von $m_1(K_1, \dots, K_n)$ aus dem Meßdatum $m_2(K_1, \dots, K_n)$ aufgrund des naturgesetzlichen Zusammenhangs $m_1 = f(m_2)$.

STEGMÜLLER denkt insbesondere jetzt an den Fall, daß für einen bestimmten Bereich das Meßverfahren MV_1 überhaupt nicht realisierbar ist, es also n-Tupel von Körpern $(K_1, \dots, K_n)$ gibt, auf die MV_1 nicht angewendet werden kann. In dem Falle kann der Wert von $m_1(K_1, \dots, K_n)$ nur durch eine indirekte Messung ermittelt werden. (Zwischen Planeten können wir keine starren Meßplatten legen).

Hatte man sich bei der Einführung von m_1 ursprünglich auf ein Meßverfahren MV_1 gestützt, so muß man sich für bestimmte Anwendungserweiterungen von m_1 aus empirischen Gründen (Nichtrealisierbarkeit von MV_1) prinzipiell auf ein anderes Meßverfahren MV_2 unter Rekurs auf Naturgesetze verlegen. Findet deshalb eine empirische Bedeutungsveränderung von m_1 statt? Dies meint offenbar STEGMÜLLER,

wenn er schreibt: "Die Entdeckung neuer und neuer Gesetze führt nicht zur Einführung neuer und neuer Größen, sondern zu einer sukzessiven Bedeutungsverschärfung dieser Begriffe, ohne jemals deren unvollständige Deutung ganz zu überwinden und die Begriffe zu empirisch definierbaren zu machen"⁴⁵⁾.

In der Tat definieren Meßvorschriften keine metrischen Begriffe. Eine Meßvorschrift ist eine explizit formulierte Handlungsanweisung !h (z.B. "Lege zwei Körper mit ihren Kanten so nebeneinander, daß die Kanten sich vollständig berühren und das eine Ende des einen Körpers eines der Enden des anderen Körpers berührt! Schau oder ertaste dann, welche der beiden Kanten an der anderen Seite über das Ende der zweiten Kante hinausreicht!) Diese Aufforderung läßt sich auch final wiedergeben, indem dazu aufgefordert wird, einen bestimmten durch $A(K)$ beschriebenen Zustand herbeizuführen (z.B. "Führe den Zustand herbei, daß die Meßplatte so an die Kante des Körpers K gelegt wird, daß ...!"). Für einen metrischen Begriff m gilt nicht die explizite Definition $m(K) = s \Leftarrow A(K)$. Die Behauptung, der Körper K habe eine Kante von der Länge s , ist nicht in allen Kontexten ersetzbar durch die Behauptung, daß eine starre Meßplatte an den Körper K angelegt ist usw. . . . In dem Sinne definiert kein Meßverfahren einen metrischen Begriff.

Mit einer operationalen Definition eines metrischen Begriffs m ist vielmehr gemeint, daß bei der Einführung von m jeweils zuvor der durch $A(K)$ beschriebene Zustand hergestellt wird und daß die Verwendungsregel für m vereinbart wird: Stelle den Zustand $A(K)$ zuerst her, dann entscheide, ob Du $m(K)=s$ für ein s behaupten willst! Natürlich kommen dann noch andere Verwendungs- und Argumentationsregeln (z.B. für irrationalzahlige s) hinzu.

45) STEGMÜLLER 1970, S. 250, Hervorh. im Original

Wenn nun m_1 für bestimmte Bereiche nur noch indirekt über ein Meßverfahren MV_2 gemessen werden kann, wieso treffen wir dann mit m_1 immer noch dieselbe Unterscheidung, wo doch in der Einführungssituation allein von dem Meßverfahren MV_1 Gebrauch gemacht worden ist? Ist nicht mit der Zulassung von MV_2 ein neuer, ein zweiter metrischer Begriff eingeführt worden oder ist die Bedeutung von m_1 nicht zumindest "empirisch" verändert worden?

Die Bedeutung von m_1 wird nicht geändert bei einer indirekten Messung zur Erweiterung des Anwendungsbereichs, d.h. die terminologischen Verwendungsregeln werden nicht revidiert oder um neue erweitert, weil, wird die methodische Ordnung in der empirisch-physikalischen Theoriebildung eingehalten, das bei der indirekten Messung in Anspruch genommene Gesetz $m_1 = f(m_2)$ nur dann begründeterweise behauptet werden darf, wenn es für einen gemeinsamen Anwendungsreich von m_1 und m_2 geprüft worden ist. Bei einer Prüfung von $m_1 = f(m_2)$ werden für n-Tupel von Körpern $(K_1, \dots, K_n)$ $m_1(K_1, \dots, K_n)$ nach dem in der "operationalen Definition" von m_1 vorgesehenen Meßverfahren MV_1 und nach dem m_2 "operational definierenden" Meßverfahren MV_2 $m_2(K_1, \dots, K_n)$ unabhängig voneinander gemessen. Stehen die Meßresultate im Einklang mit $m_1(K_1, \dots, K_n) = f(m_2(K_1, \dots, K_n))$, kann das Gesetz $m_1 = f(m_2)$ u.U. akzeptiert werden⁴⁶⁾.

Für ein n-Tupel von Körpern $(K'_1, \dots, K'_n)$, für das MV_2 , nicht aber MV_1 realisierbar ist, wird jetzt $m_1(K'_1, \dots, K'_n) = s$ allein argumentativ folgendermaßen begründet:

- 1) $m_2(K'_1, \dots, K'_n) = r$
- 2) $f(r) = s$.

Im Argumentationsschritt 2) stützen wir uns auf das Argument $m_1 = f(m_2)$, das seinerseits, wie wir gesehen haben,

46) Das ist natürlich eine stark vereinfachte Skizze des Prozesses, den wir bei der Akzeptierung von Verlaufsgesetzen beschreiten.

allein unter Berufung der im Zusammenhang mit MV_1 festgelegten Verwendung von m_1 verteidigt werden muß. Bei einer indirekten Messung wird immer noch "dieselbe" Meßgröße gemessen.

Die Schwierigkeiten, die STEGMÜLLER aus dem Umstand erwachsen sieht, daß es äquivalente Meßverfahren gibt, die eine Anwendungserweiterung von metrischen Begriffen ermöglichen und die angeblich es zum Problem werden lassen, von ein und derselben Meßgröße zu reden, sind nur vermeintlich. Es muß daher auch nicht der Ausweg daraus gefunden werden, daß man metrische Begriffe als partiell gedeutete theoretische Konstrukte auffaßt⁴⁷⁾.

47, Die gleiche Argumentation für metrische Begriffe als theoretische Konstrukte wiederholt zum Beispiel auch STRÖKER 1973, S. 49-60, ohne jeglichen kritischen Kommentar.

Kapitel 4: TECHNISCHES HANDELN UND VERLAUFGESETZE

In der Mechanik soll ein Wissen darüber bereitgestellt werden, wie Bewegungsformen technisch zu realisieren sind. Bevor wir den systematischen Aufbau der Mechanik wissenschaftstheoretisch analysieren, wollen wir in diesem und dem nächsten Kapitel den Begriff des Verlaufsgesetzes rekonstruieren und den Zusammenhang zwischen unserem technischen Handeln und den Verlaufsgesetzen analysieren.

4.1. Das elementare technische Wissen

Es gehört zum charakteristischen Ansatz der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik, von einem drei methodische Grundschrirte umfassenden Aufbau der Physik auszugehen. Physik verdankt sich diesem Ansatz gemäß einem dreistufigen Aufbau, "an dessen Basis unhintergebar

1. elementare lebensweltliche Orientierungen einzusetzen sind; von denen her sich dann
2. eine Prototheorie der Meßverfahren entwickeln läßt; deren Verfügbarkeit dann
3. empirische Daten und physikalische Theorien im engeren Sinne ermöglicht¹⁾.

Elementare lebensweltliche Orientierungen, die der Mechanik zugrundeliegen, stehen im Kontext der Techniken, Gestalten zu erzeugen und Verläufe zeitlich miteinander zu koordinieren, worauf die Kinematik und die Längen- und Dauermessung fussen. Lebensweltliche Orientierungen gehen aber nicht nur über die Prototheorien des Messens von Längen und Dauern (später von Massen, Impulsen und Kräften) in die Bildung physikalischer Theorien im engeren Sinne ein, also dort, wo es darum geht, Gesetzesaussagen zu formulieren, zu prüfen, zu akzeptieren oder zu verwerfen, sondern auch direkt, insofern bei der Bildung des Gesetzeswissens

1) KAMBARTEL 1976, S. 158

auf ein generelles Wissen über Wirkungszusammenhänge zurückgegriffen wird. "Wer nicht selbst schon in Handlungszusammenhängen, sei es aktiv oder nur passiv gestanden hat, der kann auch nicht wissen, was ein 'kausaler' Zusammenhang ist"²⁾.

Die Aufgabe, vor der wir in diesem Kapitel stehen, läßt sich auch so formulieren: es soll schrittweise der Prädiktor "bewirken" ausgehend von elementaren Handlungszusammenhängen rekonstruiert werden bis zur Einführung physikalischer Verlaufsgesetze. Dies Vorgehen unterscheidet sich von der Art und Weise, wie in der analytischen Wissenschaftstheorie an das Problem der Gesetzesartigkeit von Aussagen herangegangen wird. Das werden wir ausführlich im Kapitel 5 darlegen.

4.1.1. Das Wissen über die Wirkungen technischer Handlungen

Den Begriff der technischen Handlung haben wir bereits in Kapitel 1 expliziert. Jetzt wollen wir klären, was unter der Wirkung einer technischen Handlung zu verstehen ist.

Ein Streichholz anzuzünden bewirkt unmittelbar, daß es brennt; einen Körper mit Wasser zu übergießen bewirkt unmittelbar, daß er naß wird; einen Körper wegzutragen bewirkt unmittelbar, daß er sich an einem anderen Ort befindet. Solche 'Wirkungsbehauptungen' sind analytisch wahr, sie folgen direkt aus den Einführungen des jeweiligen Prädiktors für die betreffende technische Handlung. Wir erlernen ja eine technische Handlung zunächst stets an erfolgreichen Ausführungen, d.h. dort, wo jemand die Handlung vormacht und dadurch eine gewisse Situation herbeiführt. Die Situationen, in denen der Handlungsprädiktor

2) MITTELSTRASS 1974, S. 78

exemplarisch-operativ eingeübt wird, eignen sich auch immer als Lernsituationen, um die Prädikatoren einzuführen, mit denen die 'Wirkungen' der betreffenden technischen Handlung unterschieden werden.

Die Ausführung einer Handlung h bewirkt unmittelbar das Eintreten einer Situation S , wenn mit der Beendigung von h , genauer: mit dem Ende der zu h gehörenden Körperbewegungen der handelnden Person die Situation S besteht, wobei eben die zu h gehörende Körperbewegung solange fortgesetzt oder wiederholt wird bis die Situation S vorliegt³⁾.

Insoweit jemand überhaupt technisch zu handeln versteht, also über die operative Kompetenz verfügt, das Bewegungsschema einer technischen Handlung aktualisieren oder doch zumindest eine Handlungsausführung als solche prädisziplinieren zu können, weiß er dann auch um die unmittelbare (bezielte) Wirkung der Handlung. Das meint MITTELSTRASS, wenn er schreibt, daß es sich bei diesem Wissen über unmittelbare Wirkungen von Handlungen "nicht um ein gewissermaßen 'von außen' an Handlungen herangetragenes theoretisches Wissen" handelt, "ein Wissen, das allererst befähigen würde, in elementare Handlungszusammenhänge wie die der Herstellung von Gegenständen einzutreten, sondern um ein Wissen, das sich selbst in Handlungszusammenhängen 'bildet' - um dann etwa auch in theoretischer Absicht weiter differenziert und angewendet zu werden"⁴⁾.

Das elementare generelle technische Wissen umfaßt Behauptungen der Form: die (technische) Handlung h bewirkt un-

3) Genauer muß es heißen: die Ausführung einer Handlung h bewirkt unmittelbar das Eintreten einer Situation vom Typ S . Zwei Situationen S und S' sind vom selben Typ, wenn die Beschreibung von S' dadurch gewonnen werden kann, daß in der Beschreibung von S die vorkommenden Nominatoren durch entsprechend andere ersetzt werden. Ein Situationstyp wird also dadurch beschrieben, daß statt der Nominatoren ihren Platz vertretende schematische Buchstaben vorkommen.

4) MITTELSTRASS 1974, S. 78

mittelbar das Eintreten einer Situation vom Typ S. Nicht das ist informativ an der Behauptung, daß h die Situation vom Typ S unmittelbar bewirkt, denn diese Feststellung geht nicht über das hinaus, was wir bereits dann wissen, wenn wir überhaupt auf die Weis h handeln und ein solches Handeln auch präzisieren können, sondern informativ ist an der Wirkungsbehauptung, daß wir Situationen vom Typ S technisch durch die Handlung h beherrschen. Solche Situationen sind damit unterschieden von denjenigen, die (vorläufig) ohne unser Zutun eintreten und wieder verschwinden.

Die Unterscheidung in Situationen, die wir technisch beherrschen, und in solche, bei denen das nicht der Fall ist, ist nicht trivial. Schon die Situationen, die wir als (bezielte) Wirkung von Handlungen kennen, sind als solche zu unterscheiden von den Handlungsausführungen, die zu ihnen führen. Diese Unterscheidung ist nicht zuletzt deshalb möglich, weil die Prädikatoren, mit denen wir die unmittelbaren Wirkungen technischer Handlungen beschreiben, in der Regel auch in Situationen gelernt werden können, die nicht von uns unmittelbar handelnd bewirkt worden sind. Berührungen zwischen Körpern herzustellen, beherrschen wir technisch. Aber der Prädikator "berühren" kann auch gelernt werden, ohne daß zuvor zwei Körper zur Berührung gebracht worden sind, weil sie sich 'schon einfach so' berühren. Der Gebrauch des Prädikators "naß" setzt nicht voraus, daß vorher ein Körper naß gemacht worden ist.

Nun bleibt man bei solchen einfachen Wirkungsbehauptungen nicht stehen; machen wir uns das an einem Beispiel klar: Nehmen wir an, man beherrsche bereits die Technik, mit Holz ein Feuer anzumachen. Nehmen wir weiter an, jemand versuche, nasses Holz anzuzünden. Der Versuch schlägt fehl, obwohl die betreffende Person die Handlung wie üblich auszuführen scheint (es wird ein brennendes Holzstück von unten an das zu einem Stapel aufgeschichtete Holz gehalten). In solchen und anderen Situationen! Man erfährt, daß man

Holz nicht brennt. Natürlich versucht man es wiederholt mit nassem Holz, aber das Ergebnis ist immer negativ. Wählt man dagegen trockenes Holz, so wird ein Feuer entfacht.

An diesem trivial erscheinenden Beispiel treten alle bedeutsamen Züge hervor der Art und Weise, wie in einer elementaren Praxis unser technisches Wissen erweitert und verbessert wird. Wenn bis dahin in der Gruppe die Unterscheidung "naß-trocken" noch nicht getroffen wurde, so wird es spätestens im Zusammenhang mit den Techniken des Feuermachens sinnvoll und auch möglich, die beiden Prädikatoren explizit einzuführen. Man wird dann in Zukunft darauf achten, beim Feuermachen trockenes Holz zu verwenden. Und es ist sinnvoll, sich und andere darauf aufmerksam machen zu können, daß nasses Holz nicht brennt, d.h. daß die Handlung, ein Feuer zu entfachen, bei nassem Holz scheitert.

Es wird also ein Wissen über die Ausgangsbedingungen gebildet, die erfüllt sein müssen, damit eine technische Handlung h eine Situation vom Typ S unmittelbar bewirkt. Das heißt genauer: die Aktualisierung des die Handlung h charakterisierenden Bewegungsschemas führt auch bei entsprechender Fortsetzung nicht dazu, daß die bezweckte Situation eintritt, solange die Ausgangsbedingung nicht besteht.

Die fraglichen Ausgangsbedingungen werden selber als Situationen eines bestimmten Typs beschrieben, so daß das generelle technische Wissen über die Wirkungen von Handlungen jetzt die Form annimmt: relativ zu einer Situation vom Typ S' bewirkt die Ausführung der Handlung h unmittelbar eine Situation vom Typ S (im folgenden notieren wir ein solches generelles technisches Wissen durch $S'(!)h S$, wobei " S " und " S' " schematische Situationsbeschreibungen sind).

Mit der handlungsorientierenden Annahme eines solchen technischen Wissens wird die technische Praxis einer Gesellschaft weiter differenziert. Kommen wir nochmals auf unser Beispiel zurück: ist man erst einmal dahinter gekommen, daß nasses Holz nicht brennt, wird man in Zukunft darauf achten, jeweils zum Feuermachen nur trockenes zu verwenden.

Zugleich wird man Techniken entwerfen, wie man Feuerholz trocknen und vor dem Feuchtwerden schützen kann.

Es werden also Teilpraxen eingeübt und institutionalisiert. Die ursprüngliche Praxis wird untergliedert in Teilhandlungen, die auch sprachlich explizit voneinander unterschieden werden.

4.1.2. Das Wissen über Verläufe

Durch technisches Handeln verändern wir unmittelbar Situationen, aber nicht alle Situationsveränderungen gehen auf unser Handeln zurück: in sehr vielen Fällen verändern Verläufe Situationen. Viele Verläufe laufen ab und wiederholen sich, ohne daß wir etwas dazu tun müssen oder können. Das biologische Wachstum von Pflanzen und Tieren ist ein herausragendes Beispiel für solche Verläufe.

Damit nun bestimmte bedürfnisrelevante Situationen eintreten, sind wir oft darauf angewiesen, daß bestimmte Situationen durch Verläufe verändert werden. Anders als bei den Situationen, die wir unmittelbar handelnd herbeiführen können, muß ein Verlauf vonstatten gehen, den wir nicht durch ein entsprechendes Handeln von unserer Seite ersetzen können. Wenn der Bauer den Samen in die Erde gebracht hat, dann muß er im wesentlichen abwarten, daß der Samen aufgeht. Das biologische Wachstum der Pflanzen ist ein Verlauf, der sich über einen längeren Zeitraum erstreckt und ständige menschliche Handlungseingriffe nicht erfordert oder duldet.

Aber das Beispiel des Bauern demonstriert zugleich einen wichtigen Zusammenhang zwischen dem menschlichen Handeln und Verläufen: technisches Handeln zielt in vielen Fällen darauf, einen Verlauf auszulösen oder seinen störungs-freien Ablauf abzusichern. Der Bauer legt den Samen in die Muttererde, um dadurch Wachstum in Gang zu bringen. Er spritzt (leider!) chemische Mittel gegen Schädlinge, düngt den Boden, damit das Wachstum der Pflanzen möglichst ungestört und kraftvoll sich entfalten kann. Ausgelöst wird ein Verlauf von unserer Seite, indem wir eine Situation unmittelbar handelnd bewirken, mit deren Eintreten dann auch der entsprechende Verlauf einsetzt.

Oben haben wir gesagt⁵⁾, daß ein Verlauf beschrieben wird durch die zeitliche Abfolge von Situationen $S_1(K), \dots, S_n(K)$, wobei $S_{i+1}(K)$ jeweils die Situation $S_i(K)$ verändert (ähnlich im Fall stetiger Verläufe, siehe Kapitel 1). Vor allem bei stetigen Verläufen wie z.B. Bewegungen von Körpern steht neben der Möglichkeit, einen Verlauf durch seine Stellungen zu beschreiben, oft ein eigener Prädikator für den Verlauf zur Verfügung: wir sprechen davon, daß sich ein Körper "bewegt" und indem wir den Verlauf als "Bewegung" präzisieren, können wir darauf verzichten, seine einzelnen Stellungen, im Fall der Bewegung die jeweilige Entfernung des einen Körpers von einem anderen in ihrer zeitlichen Reihenfolge anzugeben; die Prädikatoren "wachsen" und "trocknen" sind weitere Beispiele für solche Verlaufsprädikatoren. Wir verwenden sie besonders dann, wenn sich etwas in einem längeren Zeitraum verändert, aber es sehr schwierig bis unmöglich oder auch überflüssig ist, alle dabei durchlaufenden Stellungen zu beobachten und explizit festzuhalten.

Verlaufsprädikatoren wie "wachsen" oder "bewegen" werden so eingeführt, daß in geeigneten Situationen auf einzelne charakteristische Stellungen (Situationen, die sich ver-

5) Vgl. Kapitel 1, S.

ändern) verwiesen wird, die zugleich auch als Situationen beschrieben werden können. Daß ein Verlauf V eine Situation S in eine Situation S' verändert (im folgenden kurz notiert durch S V S'), ist daher meist schon aufgrund der Einführung des Verlaufsprädikators "V" wahr; dieses Wissen expliziert nur (ähnlich wie bei den Behauptungen: eine technische Handlung h bewirkt unmittelbar die Situation S), was wir schon wissen und wissen müssen, um den Verlauf überhaupt durch den Prädikator "V" präzisieren zu können.

Das eigentliche Wissen über Verläufe bezieht sich auf zwei Aspekte: es ist einmal das Wissen, von welcher Ausgangssituation (Ausgangsstellung) aus ein Verlauf V in Gang kommt. Der Bauer weiß, daß, hat er den Samen in den Boden gelegt, der Samen zu keimen beginnt und aus den Keimen die Pflanzen entsprossen. Kennen wir diese Ausgangssituation S und vermögen wir sie sogar selber unmittelbar handelnd zu bewirken, so können wir den Verlauf selber in Gang bringen.

Das führt zu einer sinnvollen Erweiterung des Terminus "bewirken": wenn wir über eine technische Handlung h die Ausgangssituation S selber unmittelbar handelnd bewirken und dadurch den Vorgang V auslösen, so wollen wir sagen, wir bewirken (jetzt im weiteren Sinne) jede spätere Stellung S' aus dem Verlauf.

Zum anderen bezieht sich das relevante Wissen über Verläufe auf Störungen. Ein Verlauf V ist gestört, wenn zwar eine Stellung S noch erreicht wird, aber eine spätere, zum Verlauf gehörende Stellung S' nicht mehr. Das Wissen über Störungen von Verläufen ist streng genommen ein Wissen über die Überlagerung von mehreren Verläufen: wenn nach der Stellung S aus V eine Situation S₀ eintritt, die einen Vorgang V₀ auslöst, so überlagert V₀ den Verlauf V störend, wenn alle späteren Stellungen S'₀ aus V₀ eintreten und sie jeweils $\neg S'$ implizieren. Man muß also ein Wissen darüber bilden, welche Verläufe einander störend überlagern. Auf

die Überlagerung von Verläufen kommen wir zurück.

Elementare technische Praxis, die darauf abstellt, bestimmte Situationen herbeizuführen, bewirkt dies nicht in allen Teilschritten unmittelbar, sondern auch immer mittelbar, indem auf situationstransformierende Verläufe zurückgegriffen wird. Demnach hat die technische Praxis den folgenden schematischen Ablauf:

$(!)h_1 S_1 V_1 S_2 (!)h_2 \dots S_n^{6)}$.

Daß mit der Handlung h_1 in einer gar nicht weiter charakterisierten Ausgangssituation begonnen wird, bringt das Ziel der technischen Beherrschung von Situationen zum Ausdruck: nämlich (möglichst) jederzeit solche Situationen herbeiführen zu können. Dazu muß man aber mit Handlungen beginnen, die man immer oder praktisch immer ausführen kann, in welcher Situation man sich auch gerade befinden mag. (Einfache Fortbewegungen des eigenen Körpers sind zum Beispiel solche fast immer aktualisierbaren Handlungen.)

4.2. Technikorientierte Verlaufsgesetze

4.2.1. Das Experiment

Eine für technische Praxis typische Sequenz der Art $(!)h_1 S_1 V_1 S_2 \dots S_n$ heiße ein technischer Ablauf oder ein technischer Prozeß. Technische Abläufe sollen möglichst störungsfrei vonstatten gehen: ausgehend von der Handlung h_1 soll die angestrebte Situation S_n auch tatsächlich eintreten. Wir wollen S_n störungsfrei bewirken. Zu diesem Zweck muß insbesondere dafür gesorgt werden, daß die in einen technischen Prozeß eingehenden Verläufe V_i störungsfrei ablaufen.

6) Hier sind die S_i konkrete Situationen.

In den technikorientierten Wissenschaften wird nun ein Wissen gebildet, wie technische Abläufe störungsfrei gehalten werden können⁷⁾. Um ein solches Wissen zu erlangen, werden technische Abläufe in Teilprozesse zerlegt und jeweils jeder Teilprozess gesondert untersucht. Ein Teilprozess umfaßt dabei die folgende Sequenz: es wird ausgegangen von einer Ausgangssituation S_0 , dann wird eine Handlung h ausgeführt, die unmittelbar eine Situation S_1 bewirkt, worauf ein Verlauf V beginnt, der S_1 in eine Situation S_2 transformiert. Die in den technikorientierten Wissenschaften zu untersuchenden Abläufe haben also die Gestalt: $S_0 (!) h S_1 V S_2$.

Auf die folgenden drei Fragen müssen wir eine Antwort finden:

- a) welche Ausgangssituation S_1 muß bestehen, damit ein Verlauf V die Situation S_1 in die angestrebte Situation S_2 transformiert;
- b) über welche Handlungsweise h kann S_1 unmittelbar bewirkt werden;
- c) welche Verläufe V' können V im Hinblick auf S_2 störend überlagern?⁸⁾

In vielen Fällen, z.B. wenn Bewegungsformen realisiert werden, interessiert man sich nicht für die einzelne Stellung S_2 aus dem Verlauf, sondern für den gesamten Verlauf mit seinen aufeinanderfolgenden Stellungen. An die Stelle der Frage a) tritt dann die Frage

- a') bei welcher Ausgangssituation S_1 tritt welche Stellung aus dem Verlauf V zu welchem Zeitpunkt ein?

7) JANICH 1973, S. 23 schreibt: "Das einmal oder wiederholt bei der Beseitigung von Störungen gewählte Vorgehen schlägt sich in einem technischen Verfügungswissen nieder, das sich treffend auch als Störungsvermeidungswissen bezeichnen ließe".

8) Wir gehen grundsätzlich von der Wiederholbarkeit der Handlungen und Verläufe aus. " S_1 " und " S_2 " sind also schematische Situationsbeschreibungen. Wenn dies nicht der Fall ist, wird es ausdrücklich genannt.

Um eine Antwort auf die drei Fragen zu erhalten, werden hypotheseengeleitete Versuche unternommen: Die Versuche bestehen darin, über eine Handlung h eine Ausgangssituation S_1 unmittelbar zu bewirken, die dann einen Verlauf V auslöst, der S_1 in S_2 transformiert. Die Versuche sind hypotheseengeleitet: es wird vorher (vor Ausführung des Versuchs) eine Handlung h zur Herstellung der Anfangsbedingung S_1 vorgeschlagen, verbunden mit der Erwartung, daß ein Verlauf V von S_1 zu S_2 führen wird. Man weiß vorher, was herauskommen soll.

Einen solchen hypotheseengeleiteten Versuch (!) $h S_1 V S_2$ nennen wir ein Experiment. Ein Experiment ist nichts anderes als ein stilisierter technischer Prozeß. Der entscheidende Unterschied zum technischen Prozeß liegt wesentlich darin, daß technische Prozesse im Rahmen gesellschaftlicher Arbeit in Gang gesetzt werden als Mittel, um bestimmte bedürfnisbefriedigende Situationen herbeizuführen, während das Experiment nicht der Herstellung bedürfnis_befriedigender Situationen unmittelbar dient, sondern der Wissensbildung darüber, mit welchen Mitteln solche Situationen bewirkt werden können. Im Gegensatz zum technischen Handeln in der Produktion ist das Experimentieren ein probeweises Handeln, an dessen Ausgang sich noch nicht unmittelbar bedürfnisbefriedigende Praxis anschließt.

Durch Experimente soll über die Fragen a) bzw. a') bis c) entschieden werden. Dazu muß das Experiment die folgenden Eigenheiten aufweisen:

Erstens muß ein Experiment wiederholbar sein, was wohl keines weiteren Kommentars bedarf.

Zweitens wird ein spezifisches Vorgehen eingeschlagen, wenn ein Experiment wiederholt fehlschlägt, d.h. wenn die erwartete Situation S_2 nicht eintritt. In einem solchen Falle verändert man planmäßig (hypotheseengeleitet) solange

die Ausgangssituation S_1 , bis eine durch die Handlung h' unmittelbar bewirkbare Situation S_1' gefunden ist, die einen Vorgang V' auslöst, der zu S_2 führt, oder sucht nach Verläufen, die sich V störend überlagern. Kommt man zu der Annahme, daß ein Verlauf V' sich in den Fällen, wo das Experiment scheiterte, mit V störend überlagert hat, so wird man nun bei Wiederholungen V von V' zu isolieren suchen. V wird von V' isoliert, indem man über weitere technische Handlungen Vorkehrungen trifft, mit denen verhindert wird, daß eine Situation eintritt, die V' während des Verlaufs V auslöst.

Drittens werden jedenfalls in den uns im weiteren interessierenden physikalischen und mechanischen Experimenten die Situationen S_1 und S_2 jeweils metrisch beschrieben; es wird bei den Experimenten also gemessen⁹⁾. Die S_1 bewirkende Handlung h besteht dann darin, die Meßgrößen, durch die S_1 bestimmt ist, vorgegebene Werte annehmen zu lassen. Ob oder welches S_2 eingetreten ist, wird ebenfalls durch Messungen festgestellt.

Die quantitativen Experimente, d.h. die Experimente, in denen gemessen wird, sind nicht nur hypothesengeleitet, sondern darüber hinaus theoriegeleitet. Wird bei Experimenten gemessen, so müssen die verwendeten Meßgeräte den vorher festgelegten Meßgerätenormen genügen. Im Fall der Längen- und Dauermessung wird dazu, wie wir dargelegt haben, eine ganze Theorie vorausgesetzt, in der die Techniken der Meßgeräteherstellung auf den Begriff gebracht, die Meßgeräteigenschaften und die Meßvorschriften normiert werden. Bei vielen physikalischen Experimenten gehen zudem bereits empirische Theoriestücke in die Versuche mit ein, und zwar immer dann, wenn abgeleitete

9) Handlungsausführungen selber können nicht gemessen werden, nur die unmittelbaren Wirkungen der Handlungen. Das ist ein erster Hinweis dafür, warum auch in technikorientierten Verlaufsgesetzen nicht von Handlungen die Rede ist.

Meßverfahren verwendet werden, wenn indirekt gemessen wird.

4.2.2. Technikorientierte Verlaufsgesetze

Haben wir mit den Wiederholungen unserer Experimente Erfolg, so kennen wir Antworten auf die Fragen a) bzw. a') bis c). In Bezug auf die Frage a) bzw. a') wissen wir dann, von welcher Ausgangssituation S_1 welche Stellungen des Verlaufs V wann erreicht werden. Unser Wissen um die Frage a) bzw. a') halten wir explizit fest in Form von Verlaufsgesetzen.

Die Verlaufsgesetze haben die folgende Form: die verschiedenen Stellungen des Verlaufs V werden durch die metrischen Größen m_1 bis m_r beschrieben, die jeweilige Ausgangssituation durch die Meßgrößen $m'_1, \dots, m'_n$. Haben die letzteren Größen feste Werte angenommen, besteht also zu einem Zeitpunkt t_0 eine konkrete Ausgangssituation S_1 , so wissen wir jetzt für jeden späteren Zeitpunkt $t_0 + \delta$, welche Stellung aus dem Verlauf gerade erreicht ist, d.h. welche Werte die Größen m_1 bis m_r angenommen haben. Das Wissen setzt voraus, daß wir r verschiedene Funktionen f_1 bis f_r kennen, aus denen wir bei vorgegebenen Werten für m'_1 bis m'_n für jedes δ den Wert der Größen m_1 bis m_r jeweils berechnen oder genauer: vorausberechnen können. Wir haben also ein System von r Gleichungen der Form:

$$m_i = f_i(m'_1, \dots, m'_n, \delta) \quad 1 \leq i \leq r.$$

Jede einzelne Gleichung ist ein (physikalisches) Verlaufsgesetz¹⁰⁾.

Die Antwort auf die Frage b) ist den einzelnen Verlaufsge-

10) Diese Rekonstruktion eines Verlaufsgesetzes schließt sich an die Einführung in LORENZER/SCHWENNER 1975, S. 113 an. Dort ist von "Transformationsgruppen" die Rede, was hier gleich rekonstruiert wird als ein System mathematischer Funktionen zur Berechnung physikalischer Größen aus vorgegebenen, anderen Meßgrößen.

setzen nicht zu entnehmen. Die Verlaufsgesetze sind Funktionsgleichungen, mathematische Formeln, mit denen gerechnet wird. Sie werden vor allem dazu herangezogen, die Ergebnisse weiterer Messungen vorauszuberechnen. Wie die Experimente und die innerhalb der Experimente vorzunehmenden Messungen auszuführen sind, darüber sagt ein Verlaufsgesetz nichts. Nach der herkömmlichen Einteilung der Physik in theoretische Physik und Experimentalphysik werden Fragen vom Typ b) in der Experimentalphysik beantwortet. Dort werden die Experimentieranordnungen und die Durchführung der Versuche im einzelnen beschrieben.

Zu der Beschreibung eines Experiments gehören:

- die Beschreibung der vom Experimentator auszuführenden Handlungen. Die im Experiment vorkommenden Handlungen werden wie alle technischen Handlungen durch Vor- und Nachmachen gelernt. Die Prädikatoren zur Unterscheidung der technischen Experimentierhandlungen werden daher exemplarisch-operativ eingeführt. Oft kann dabei direkt auf die Alltagssprache zurückgegriffen werden. Speziell für die Meßhandlungen sind explizite Vorschriften (Normen) formuliert, die bei den Messungen eingehalten werden müssen (man denke an die Vorschrift wie eine Meßlatte an einer Körperkante mehrere Male hintereinander abgetragen wird);
- die Beschreibung der beim Experiment benutzten Geräte. Die Geräte sind die Werkzeuge, deren sich der Experimentator bedient, wie z.B. ein Pendel, ein Wagen, ein Flaschenzug, eine Feder, eine schiefe Ebene usw.. Ein Körper K gilt als ein Gerät vom Typ G , wenn K ein Funktionskriterium $A(K)$ erfüllt. Die Funktionskriterien sind Sollzustände von Körpern. " $A(K)$ " ist eine ideative Zustandsbeschreibung, gleichwohl sind die darin vorkommenden Prädikatoren exemplarisch-operativ eingeführt. Für eine Klasse spezieller Geräte, nämlich die Meßgeräte haben wir das schon genauer diskutiert;

- die Beschreibung der Körper und Materialien, an denen experimentiert wird;
- die Beschreibung weiterer Bedingungen, die zu Beginn des Experiments vorliegen müssen.

Wichtig ist dabei zweierlei: Erstens können die Beschreibungsmittel, die Prädikatoren alle exemplarisch-operativ eingeführt oder über solche Prädikatoren explizit definiert werden. In der Terminologie der Analytiker geredet: alle Beschreibungsmittel für Experimente gehören der "vollverständlichen Beobachtungssprache" an. Im Unterschied zu den Analytikern muß aber betont werden, daß die einen Gerätetyp definierenden Funktionskriterien $A(K)$ nicht einfach an Körpern K "beobachtet" werden, sondern diesen Körpern zukommen sollen und deshalb ihnen u.U. durch entsprechende Bearbeitung vorher "aufgezwungen" worden sind.

Zweitens ist es zutreffend, wenn der Zusammenhang zwischen Experimenten und Verlaufsgesetzen als ein Realisierungsverhältnis charakterisiert wird¹¹⁾. Verlaufsgesetze sind ja ersichtlich mehr als konjunktiv zusammengefaßte Beschreibungen der Ausgänge aller bis zu einem bestimmten Zeitpunkt gemachten Experimente. Der in den Verlaufsgesetzen behauptete funktionale Zusammenhang zwischen Meßgrößen soll sich auch bei allen weiteren Experimenten wieder ergeben. Außerdem sollen und können die Anfangsbedingungen jeweils mit verschiedenen Körpern und Materialien experimentell hergestellt werden.

Auch die bei Experimenten gefundenen Antworten auf die Frage c) sind nicht in einem einzelnen Verlaufsgesetz mit aufgeführt. Wenn mit dem Verlauf V experimentiert wird, dann werden Verläufe V' , die sich V störend überlagern,

11) So heißt es etwa bei POHL 1969, S. 29 über lineare Kraftgesetze: "Das lineare Kraftgesetz läßt sich in mannigfacher Weise verwirklichen."

abgetrennt. Für die Verläufe V' werden oft eigens Verlaufsgesetze aufgestellt. Unproblematisch sind die Fälle, wo die störenden Überlagerungen vollständig ausgeschaltet werden können und der zu untersuchende Verlauf V abgeschirmt werden kann von den anderen Verläufen. Das ist aber nicht immer, vor allem nicht bei allen Realisierungen von V möglich: man denke z.B. an die Reibung, die bei den allermeisten irdischen Bewegungen auftritt und dort nicht vollständig eliminiert werden kann.

Es liegt also folgende Situation vor: für bestimmte Realisierungen des Verlaufs V ist im Rahmen der Meßgenauigkeit das Verlaufsgesetz $m = f(m_1, \delta)$ ¹²⁾ erfüllt. Für einen anderen Verlauf V' mit dem Verlaufsgesetz $m' = f'(m_2, \delta)$ gilt das Gleiche. Bei anderen Realisierungen von V ist jedoch das Verlaufsgesetz nicht mehr erfüllt. Man stellt fest, daß in diesen Fällen der Verlauf V' immer mitrealisiert wird. Das Verlaufsgesetz $m = f(m_1, \delta)$ trotz der abweichenden Befunde beizubehalten, ist sinnvoll, wenn das folgende gilt: Für einen Anfangszeitpunkt t_0 läßt man die Meßgröße m_1 einen bestimmten Wert annehmen. Daraufhin setzt der Verlauf V ein, zugleich aber eben auch der Verlauf V' . Deshalb mißt man entweder zum Zeitpunkt t_0 den Wert der V' auslösenden Meßgröße m_2 oder, wenn V' erst später eintritt, den Wert der Meßgröße m' zu einem Zeitpunkt $t_0 + \delta$. Gibt es nun eine allgemeine Formel der Form $\Delta m = f_1(f(m_1, \delta), f'(m_2, \delta))$ bzw. $\Delta m = f_1(f(m_1, \delta), m')$, die die Abweichung Δm der Meßgröße m von dem Wert $f(m_1, \delta)$ für jedes δ zu berechnen gestattet, wird man das Verlaufsgesetz $m = f(m_1, \delta)$ auch für die Fälle weiter als gültig behaupten, wo wegen des Auftretens von

12) Nur zur Vereinfachung unserer Überlegungen beschränken wir uns auf Verläufe, die durch eine Meßgröße vollständig charakterisiert sind und wo die auslösende Anfangssituation metrisch durch eine Meßgröße beschrieben werden kann.

V' das Verlaufsgesetz nicht erfüllt ist¹³⁾.

Die Gleichung $\Delta m = f_1(m, m')$ gibt die überlagernde Wirkung des Verlaufs V' auf den Verlauf V an. Für die Mechanik werden wir später noch sehen, daß ein einziges Überlagerungsgesetz, nämlich das Prinzip der linearen Superposition aufgestellt und methodisch begründet wird.

Das eben geschilderte Vorgehen ist ein weiterer Grund, davon zu reden, daß Verlaufsgesetze realisiert werden. Durch die Verlaufsgesetze werden "reine" Verläufe theoretisch erfaßt. Treten bei Herstellung der in einem Verlaufsgesetz angeführten Anfangsbedingungen Abweichungen von dem aufgrund des Verlaufsgesetzes vorausgerechneten Verlauf ein, werden diese Abweichungen auf störende Überlagerungen zurückgeführt, die sich ebenfalls berechnen lassen. Die "reinen" Verläufe werden nur unvollständig realisiert.

An dieser Stelle kann etwas zu der Diskussion um ceteris-paribus-Klauseln in Verlaufsgesetzen gesagt werden. Es wird behauptet, das oben beschriebene Verfahren, die von Verlaufsgesetzen abweichenden experimentellen Befunde auf Störungen zurückzuführen und daher nicht zum Anlaß zu nehmen, das "falsifizierte" Verlaufsgesetz zu verwerfen, erfordere, die Verlaufsgesetze mit einer ceteris-paribus-Klausel zu versehen¹⁴⁾.

13) KAMBARTEL 1968, S 135f schreibt: "Sie (die Physik, H.T.) geht davon aus, daß auch bei den beschriebenen 'Gegenbeispielen' (des Fallgesetzes, H.T.) die klassische Gleichung der Fallbewegung an sich erfüllt ist, diese jedoch durch gewisse STÖRFAKTOREN verdeckt wird: Die tatsächlich beobachtete Fallbewegung setzt sich aus einer Komponente, die die Galileische Fallformel befriedigt und allein durch die Gravitation verursacht wird, und Komponenten, die aus anderen Ursachen (Auftrieb, Reibung des Mediums) herrühren, zusammen."

14) Vgl. etwa den Aufsatz von WESTMEYER in BROCKE, FÖHL, WESTMEYER 1973, S. 83-129.

In der Diskussion wird davon ausgegangen, daß Verlaufsgesetze generelle Subjunktionen sind¹⁵⁾. Es wird versucht, formallogische Explikationen der ceteris-paribus-Klausel in das Antezedens der Gesetzesaussage einzufügen¹⁶⁾. Auf solche Versuche wird hier von vornherein verzichtet. Dieser Verzicht ist einfach zu begründen: Verlaufsgesetze sind mathematische Funktionsgleichungen, mit denen Experimenti-
mentiererergebnisse vorausberechnet werden. Damit ist die Aufgabe umrissen, zu deren Erfüllung sie überhaupt aufgestellt werden. Verlaufsgesetze werden durch Experimente realisiert. Wir haben bereits gesehen, daß der Experimentator dazu viel mehr wissen muß und auch weiß, als dem einzelnen Verlaufsgesetz unmittelbar zu entnehmen ist. Mit einem Verlaufsgesetz läßt sich nur etwas anfangen, wenn man über dieses spezifische Wissen des Experimentators verfügt.

Zu diesem Wissen gehört auch eine Kenntnis der Verläufe, die sich mit einem vorgegebenen Verlauf störend überlagern oder überlagern können. Soll ein Verlauf V realisiert werden, so wird jeder sachkundige Experimentator dabei die V störenden Verläufe V' ausschalten, die er von V trennen kann. Wo ihm das nicht gelingt, wird er die Störungen auf den Verlauf V möglichst gering zu halten suchen. Die verbleibenden Störungen werden durch Überlagerungsgesetze oder -prinzipien berechnet und sind somit wenigstens theoretisch erfaßt.

Der sachkundige Experimentator stützt sich also bei der Realisierung des Verlaufs V für die theoretische Berechnung und Analyse wie für die Durchführung des Experiments nicht nur auf das "reine" Verlaufsgesetz für V, sondern auch auf die relevanten "reinen" Verlaufsgesetze für die sich mit V

15) Vgl. Kapitel 5, 5.2.

16) So geht etwa WESTMEYER vor.

überlagernden Verläufe V' und die dazugehörigen Überlagerungsprinzipien. Eine ceteris-paribus-Klausel für ein einzelnes Verlaufsgesetz ist deshalb überflüssig, weil jeder Experimentator (und später jeder, der das Verlaufsgesetz "anwendet") auf der Grundlage einer ganzen Theorie experimentiert. Die ceteris-paribus-Klausel für ein einzelnes Verlaufsgesetz steckt in dem theoretischen System von Verlaufsgesetzen, das durch Überlagerungsgesetze oder -prinzipien konstituiert ist¹⁷⁾ und in das das einzelne Verlaufsgesetz hineingehört.

Zum Schluß eine Bemerkung zur Mechanik: In der Mechanik soll ein Wissen darüber gebildet werden, wie Bewegungsformen sich geeignet realisieren lassen. Es ist dabei unser Bestreben, Bewegungen auf eine solche Weise zu erzeugen, daß synchron ablaufende Handlungen (Bewegungen) von unserer Seite auf ein Minimum reduziert werden. Gesucht wird daher ein Wissen der folgenden Art: Mit dem Eintreten einer Situation vom Typ S zum Zeitpunkt t_0 , die wir selber unmittelbar handelnd bewirken, setzt ein Bewegungsverlauf ein, der eine vorgegebene Bahnfunktion $r(t)$ erfüllt. Gesucht werden also Verlaufsgesetze der Form:

$$r(t) = f(m_1, \dots, m_n, t) \quad ^{18)}$$

Ein solches Verlaufsgesetz nennen wir ein Bewegungsgesetz. Im Kapitel 6 werden wir darlegen, warum nicht direkt solche Bewegungsgesetze in der Mechanik formuliert werden, sondern Kraftgesetze und welcher Zusammenhang zwischen Kraft- und Bewegungsgesetzen besteht.

4.2.3. Die wichtigsten Eigenschaften technikorientierter Verlaufsgesetze

In der analytischen Wissenschaftstheorie werden physikalische Theorien nicht als Artefakte begriffen, an die man die

17) Vgl. Kapitel 6

18) In Kapitel 6 werden wir auch erörtern, was sich vorab über die Größen m_1 bis m_n sagen läßt.

Frage zu richten hat, welche Zwecke ihrer Erzeugung zugrundeliegen, sondern als "fertige" Gegenstände, an denen man mehr oder weniger staunend gewisse Eigenschaften feststellt. Dieser Theorienrealismus, der wissenschaftliche Theorien auf eine Stufe stellt mit einfach vorfindlichen Gegenständen, ontologisiert insbesondere methodisch zu begründende Eigenschaften der Verlaufsgesetze, etwa die Stetigkeit der in ihnen vorkommenden Funktionen¹⁹⁾.

Dabei läßt sich für die Stetigkeit der Funktionen f in einem (für den Gang unserer Argumentation vereinfachten) Verlaufsgesetz $m = f(m')$ methodisch argumentieren. Zunächst ist leicht einzusehen, daß f keine konstante Funktion sein kann. Im Fall von Bewegungsgesetzen wollen wir ja verschiedene Bewegungsformen dadurch realisieren, daß wir die Anfangsbedingungen jeweils verändern, d.h. dafür sorgen, daß die Meßgrößen, die die Ausgangssituation festlegen, verschiedene Werte annehmen.

m soll nun etwa den Wert m_0 annehmen, indem wir es einrichten, daß m' den Wert m'_0 annimmt nach der Berechnung $m_0 = f(m'_0)$. In der Regel ist die genaue Realisierung von m'_0 mit zwei Schwierigkeiten behaftet:

- wir wollen $m_0 = f(m'_0)$ immer wieder realisieren. Dazu werden wir im Laufe der Zeit verschiedene Meßgeräte benutzen, die jeweils nur hinreichend gut, aber nicht

19) STEGMÜLLER hat in verschiedenen wissenschaftstheoretischen Analysen zur Kausalitätsproblematik eine Liste von Eigenschaften zusammengestellt, die strenge Kausalgesetze (wir könnten auch sagen: Verlaufsgesetze) aufweisen müssen. "Kausalgesetze sind quantitative, mittels stetiger mathematischer Funktionen darstellbare Mikro-Sukzessions-Nahwirkungsgesetze, die sich auf ein homogenes und isotropes, von bestimmten Erhaltungsprinzipien beherrschtes Raum-Zeit-Kontinuum beziehen" (STEGMÜLLER 1970a, S. 13); vgl. STEGMÜLLER 1969, S. 452 ff. und STEGMÜLLER 1970a, S. 1 ff. Zur Stetigkeitseigenschaft schreibt STEGMÜLLER dann: "Diese Stetigkeitsforderung kann man, wie Feigl hervorhebt, als die moderne Fassung des alten Grundsatzes 'natura non facit saltus' ansehen..." (STEGMÜLLER 1970a, S. 13). Wie die Stetigkeit konstatiert STEGMÜLLER auch die anderen Eigenschaften der Verlaufsgesetze einfach. Im Laufe der weiteren Untersuchungen werden wir für alle Eigenschaften eine methodische Begründung liefern.

absolut genau die Meßgeräteeigenschaften realisieren. Wiederholungen von Messungen weichen also immer voneinander ab, die Meßergebnisse liegen mit einer Streuung in einem festen Intervall. Wir verbessern unsere Meßgeräte aber und können dadurch genauer messen, d.h. so messen, daß die gemessenen Werte bei Wiederholungen und von der "tatsächlichen" Größe nicht mehr als um ein vorgegebenes $\epsilon > 0$ abweichen;

- bei der Herstellung von m'_0 führen wir unsere Handlung in der Regel nicht so genau aus und funktionieren die dabei benutzten Geräte nicht absolut genau, so daß wir uns mit einer Fehlergrenze, die nicht überschritten wird, bei den Realisierungen zufrieden geben müssen. Wir wissen dann allerdings, daß der realisierte Wert höchstens um ein $\epsilon > 0$ von dem gewünschten abweicht.

Diese Fehler übertragen sich auf m_0 , wenn wir m_0 aufgrund des akzeptierten Verlaufsgesetzes über m'_0 herstellen. Um aber über die Realisierung von m'_0 die "abhängige Größe" m_0 immer besser realisieren zu können (relativ zur Erhöhung der Meßgenauigkeit und der Verbesserung der Funktionstüchtigkeit der Geräte) müssen wir folgendes erreichen: soll m_0 nur mit einem zulässigen Fehler von $\epsilon > 0$ herbeigeführt werden, muß man wissen, mit welcher Genauigkeit m'_0 realisiert werden muß. Für jedes $\epsilon > 0$ muß daher ein $\delta > 0$ effektiv angegeben werden können, so daß für einen Wert m'_j der Größe m' gilt:

$$|m'_j - m'_0| < \delta \rightarrow |f(m'_j) - f(m'_0)| < \epsilon$$

f ist stetig im Bereich der meß- und realisierbaren Werte von m ²⁰.

-
- 20) In LORENZEN 1965, S. 70f findet sich eine ganz ähnliche Argumentation für die Stetigkeit der Funktionen, mit denen "Abhängigkeiten" quantitativ beschrieben werden. LORENZEN stellt dabei einzig auf die Meßgenauigkeit ab, während wir stärker des Aspekt betont haben, Meßgrößen bestimmte Werte dadurch annehmen zu lassen, daß man eine andere Größe auf einen bestimmten Wert einstellt. Außerdem argumentiert LORENZEN sofort für die gleichmäßige Stetigkeit, was ich nicht einsichtig finde. Doch ist dies eine nicht erhebliche Differenz, weil die in der Physik gefunden Funktionen i.a. auf abgeschlossenen Intervallen definiert und dort bekanntlich als stetige Funktionen sogar gleichmäßig stetig sind.

Die Verlaufsgesetze sind Sukzessionsgesetze. Sie behaupten einen berechenbaren Zusammenhang zwischen einer Ausgangssituation S_1 und verschiedenen Stellungen eines mit S_1 einsetzenden Verlaufs. Die Stellungen aus dem Verlauf liegen zeitlich später als S_1 selber.

Klar ist auch, daß man immer versuchen wird, deterministische statt statistische Gesetze aufzustellen. In der technikorientierten Mechanik etwa wird ein Wissen darüber gebildet, wie wir Bewegungsformen störungsfrei reproduzieren können. Wir suchen nach Anfangsbedingungen eines bestimmten Typs, die wir unmittelbar handelnd herbeiführen können und die zu einer störungsfreien Realisierung des gewünschten Bewegungsverlaufs führen. Im Fortgang der Forschung werden immer mehr für einen störungsfreien Ablauf relevante Bedingungen identifiziert und technisch verfügbar gemacht. Dadurch nähert man sich zugleich immer besser dem Ziel an, Bewegungen in allen Abschnitten ihres Ablaufs kontrollieren und störungsfrei halten zu können.

Nur da, wo uns dies technisch nicht hinreichend gut gelingen will, werden wir uns aus forschungspragmatischen Gründen mit dem nächst schwächeren technischen Wissen begnügen: nämlich wenigstens die Wahrscheinlichkeit dafür berechnen zu können, mit der eine Situation auf eine von uns technisch beherrschte Ausgangssituation hin eintreten wird.

4.3. Technikorientierte Verlaufsgesetze und Naturgesetze

In der reflexiven Selbstdarstellung der Physiker wie auch in der analytischen Wissenschaftstheorie der Physik werden die Verlaufsgesetze i.a. als "Naturgesetze" bezeichnet. Naturgesetze "beschreiben Regelmäßigkeiten" von Verläufen, die "in der Natur sich abspielen". Die in einem Naturgesetz dargestellte Regel für einen Verlauf bezieht sich darauf, daß stets auf eine bestimmte Ausgangssituation hin der Ver-

lauf einsetzt und dabei die einzelnen, angebbaren Stellungen (Situationstransformationen), die zu ihm gehören, stets in einer festen zeitlichen Ordnung aufeinanderfolgen. Sind die auslösenden Ausgangsbedingungen und die Regel des Naturverlaufs bekannt, kann man prognostizieren, wann welche Situation eintreten wird, und sich darauf handelnd einstellen. Das alles ist bekannt.

Die Frage nach der Begründung der Verlaufsgesetze, auch und gerade der physikalischen Verlaufsgesetze wird meistens so aufgegriffen, daß dabei Verlaufsgesetze mit Naturgesetzen gleichgesetzt werden: Naturgesetze "beschreiben das Regelmäßige an Verläufen", die letztlich ohne menschliche Handlungseingriffe sich von alleine ereignen²¹⁾. Die Gleichsetzung von Verlaufsgesetzen mit Naturgesetzen im Hinblick auf die Physik führt direkt in die Schwierigkeiten der beiden grundsätzlich unterscheidbaren Antworten, die auf die Frage gegeben worden sind, mit welchen Gründen wir ein Verlaufsgesetz behaupten dürfen.

Die eine Antwort kann die induktionistische genannt werden. Naturgesetze "beschreiben Regelmäßigkeiten von Naturverläufen", die wir aufgrund der Beobachtung²²⁾ endlich vieler Einzelfälle "entdecken". Die induktionistische Antwort zieht

21) Bei dieser Auffassung werden die Wirkungen der Experimentierhandlungen nicht als Veränderungen betrachtet, sondern als ein Offenlegen dessen, was bereits vorhanden ist, also durch das Experimentieren nicht erst hervorgebracht wird, und auch durch Experimente nicht verändert wird ("der Natur ihre Geheimnisse entreißen").

22) Wir wählen hier als Sammelbegriff für die verschiedenen erkenntnisgewinnenden Handlungen den Terminus "Beobachtung", weil sich mit ihm am ehesten die Vorstellung verbindet, daß das Beobachtete bereits vorhanden ist und durch die Beobachtung nicht verändert wird. Der Induktionismus leugnet selbstverständlich nicht die Tatsache des Experimentierens in der Physik, aber er begreift das Experimentieren nicht als ein von Anfang an auf planmäßige Veränderungen hinielendes, stilisiertes technisches Handeln, wie es dann in modifizierter Form nach erfolgreich abgeschlossener Wissensbildung in der Produktion wiederkehrt.

sofort das Induktionsproblem nach sich: wann und warum sind wir berechtigt, eine für endlich viele beobachtete Einzelfälle bestätigte Regel an konkreten Verläufen auch für alle zukünftigen Wiederholungen zu erwarten? Darauf sind viele Antworten gegeben worden²³⁾, die aber so recht niemanden befriedigen²⁴⁾.

Die zweite Antwort kann man die kantische nennen: "Wir schreiben der Natur die Gesetze selber vor"²⁵⁾. Diese Antwort scheint zwar das Induktionsproblem zu lösen, wirft aber sofort eine andere Frage auf, nämlich, in den kantischen Metaphern geredet, warum sich die Natur nach den ihr vorgeschriebenen Gesetzen richtet. Eine nachvollziehbare Antwort bleibt man solange schuldig, als man nicht von der Gleichsetzung physikalischer Verlaufsgesetze mit Naturgesetzen abgeht. Erst wenn man Natur und Technik voneinander unterscheidet und die Technikorientierung der Physik anerkennt, erhält die kantische Antwort eine be-

-
- 23) Es ist so gut wie unmöglich, sich noch einen Überblick über die Literatur zu verschaffen, die zum Induktionsproblem vorliegt und weiter anwächst.
- 24) Für Naturverläufe in dem von uns normierten Bedeutung des Terminus "Natur" gibt es m.E. nur eine ehrliche und kurze Antwort: wir finden eine Regel an endlich vielen Wiederholungen eines Naturverlaufs bestätigt und erwarten dies hypothetisch dann auch für die Zukunft. Wir müssen mit dem Risiko leben, daß unsere Erwartungen nicht eintreffen. LORENZEN kommentiert: "Jedoch: es hofft der Mensch, so lang' er lebt - immer wieder greift er nach solchen 'Verlaufsgesetzen'", LORENZEN/SCHWEMMER 1975, S. 113. Diese ironisierende Selbstbescheidung im Hinblick auf das sogenannte "Induktionsproblem" für Naturgesetze ist ehrlicher und angemessener als die ganze, aufwendige analytische Literatur zur "induktiven Logik", die letztlich auch keine überzeugendere Antwort weiß. Sie ist nur verborgen unter einem Wust formalistischer Kalkülisierungen; vgl. auch Kapitel 7.
- 25) Es geht hier nicht um eine KANT-Interpretation. Wir nennen die Antwort nur die kantische, weil er mit seiner eingeklassenen Formulierung von den Gesetzen, "die wir der Natur vorschreiben", sozusagen das Motto für eine Deutung der physikalischen Verlaufsgesetze geliefert hat, die sich grundsätzlich von jeder Art von Induktionismus unterscheidet; vgl. zur KANT-Interpretation KAMBARTEL 1968, Kapitel 3, besonders S. 126ff..

gründbare Interpretation²⁶⁾.

- 26) Es waren dann vor allem DINGLER und THÜRING, die eine methodische Einlösung des kantischen Mottos versucht haben. Für sie ist die "physikalische Abhängigkeit", also daß auf das Eintreten einer bestimmten Situation eine andere Situation eintritt, eine "Idee", die erst "realisiert" werden muß und die sich nicht so einfach vorfindet. THÜRING 1967, S. 79 argumentiert z.B. so: Es muß "zunächst von uns die allgemeine Idee der physikalischen Abhängigkeit genau formuliert und ihre definierenden Kennzeichen müssen genau aufgestellt werden. Insoweit dann reale Einzelvorgänge "Wenn A, dann B" diese Kennzeichen aufweisen oder von uns durch manuelle Bearbeitung aufgeprägt erhalten, insoweit liegt in ihnen dann eine reale "objektive" physikalische Abhängigkeitsbeziehung vor". Es gibt nach THÜRING zwei Möglichkeiten exakte physikalische Abhängigkeiten zu gewinnen:
- "1. Das Suchen und Entdecken von Vorgängen, welche in der unberührten Natur schon erlebbar vorliegen und die Kennzeichen, welche wir der Idee der physikalischen Abhängigkeit gegeben haben, praktisch aufweisen ("Geistige Realisierung").
2. Das aktive und zielstrebige manuelle Bearbeiten (Verändern) realer Dinge und Vorgänge (...) so lange und so intensiv, bis sie die Kennzeichen der Idee der physikalischen Abhängigkeit praktisch aufweisen. Die Kennzeichen müssen in diesem Falle in der Form von Handlungsanweisungen vorliegen ("Manuelle Realisierung")." Ähnlich argumentiert DINGLER 1919, S. 49ff. und 1964, 208 ff. DINGLER wie THÜRING definieren eine "einfachste Art der physikalischen Abhängigkeit" protophysikalisch und sehen sie im allgemeinen Gravitationsgesetz "realisiert", für das sie so eine apriorische Geltung behaupten.
- Kritisch ist zu DINGLER und THÜRING anzumerken: unser Ziel kann nicht sein, die Idee der physikalischen Abhängigkeit zu realisieren, vielmehr konstruieren wir aus technischen Aufgabenstellungen heraus sehr verschiedene Verläufe, z.B. verschiedene Bewegungsformen, und suchen sie zu realisieren, indem wir geeignete Ausgangsbedingungen selber handelnd herstellen und störende Bedingungen ausschalten. Die Vorstellung von einer "einfachsten physikalischen Abhängigkeit" wird von DINGLER und THÜRING im Hinblick auf einen methodischen Anfang der Mechanik (Dynamik) entwickelt. Das Problem kann, wie wir im Kapitel 6 ausführlich zeigen werden, aber formuliert werden als die Frage nach einer operativen Massendefinition, die die methodisch-pragmatische Ordnung der Wissensbildung nicht verletzt, so daß methodisch mit dem Aufbau der Mechanik begonnen werden kann. Faßt man das Problem so, erweisen sich die Einfachheitsüberlegungen von DINGLER und THÜRING als nicht besonders erhellend zu seiner Lösung. Schließlich wird dann fraglich, ob das Gravitationsgesetz angemessen rekonstruiert ist, wenn man es aus Einfachheitsüberlegungen herleitet, zumal die Herleitung nur schwer nachzuvollziehen ist.

Nach unserer bisherigen Rekonstruktion sind die Verlaufsgesetze der Mechanik keine Naturgesetze, sondern technikorientierte Verlaufsgesetze. Technikorientierte Verlaufsgesetze betreffen von uns konstruierte und selbsterzeugte Verläufe, die wir auch technische Prozesse genannt haben. Diese grundsätzliche Antwort umfaßt die folgenden drei Aspekte, die für unsere Fragestellung von Bedeutung sind:

- die Verläufe sind Konstruktionen, die Regel für den Verlauf steht also vorher schon fest²⁷⁾;
- die Ausgangsbedingungen werden von uns solange variiert und um die Einbeziehung störender Faktoren in die technische Kontrolle ergänzt, bis der Verlauf reproduzierbar gemäß der Konstruktion abläuft;
- die Ausgangsbedingungen werden von uns unmittelbar handelnd bewirkt.

Die induktionistische Antwort wird für physikalische Verlaufsgesetze dahingehend korrigiert, daß die physikalischen Verläufe Konstruktionen sind. Das ist eine Reformulierung der kantischen Antwort, die deren Dunkelheit vermeidet.

Das erwähnte Problem der kantischen Antwort wird mit dem Hinweis gelöst, daß wir solche konstruierten Verläufe realisieren über die technische Verfügung der relevanten Ausgangsbedingungen.

Ein Rest von "Entdeckungsleistung" bleibt zunächst nur für die Ausgangsbedingungen bestehen: welche Ausgangsbedingungen eine störungsfreie Realisierung des geplanten

27) Je nach den technischen Problemstellungen werden unterschiedlich starke Forderungen an Verläufe gestellt. Bei Bewegungsformen, also vollständig bestimmten Bewegungen, kommt es auf jede einzelne Stellung an, die durchlaufen wird: festgelegt ist sowohl die zeitliche Reihenfolge als auch die zeitliche Dauer zwischen zwei Stellungen durch die Konstruktion. In anderen Fällen reicht es schon, daß eine Stellung überhaupt erreicht wird, egal welche Situationstransformationen ihr vorgehen.

Verlaufs auslösen, kann nur im systematischen Experimentieren in Erfahrung gebracht werden.

Aber dieses experimentelle Inerfahrungbringen darf nicht "induktionistisch" gedeutet werden als die Entdeckung dessen, "was einfach so in der Natur vorhanden ist". Im Experiment verändern wir bestimmte Bedingungen solange, bis der Verlauf planmäßig abläuft. Wir erzeugen also im Experiment Situationskonstellationen, die sich in dieser Weise nicht von selbst einstellen und daher nicht zur Natur gehören.

Zudem werden die experimentellen Ausgangsbedingungen von uns letztlich selber unmittelbar handelnd bewirkt. Wir haben oben betont, daß die unmittelbaren Wirkungen technischer Handlungen in den entsprechenden Handlungsvollzügen selber erfahren werden. Sie werden an den Handlungen nicht "entdeckt", indemman sie ausführt und betrachtend verharret um abzuwarten, was passieren wird. Vielmehr handeln, d.h. aktualisieren wir Körperbewegungen solange, bis die gewünschte Wirkung eintritt.

So gesehen, ist jede induktionistische Frage, woher wir wissen können, daß Situationen eines bestimmten Typs stets unmittelbare Wirkungen einer Handlung sind, völlig verfehlt und mit dem schlichten Vollzug der Handlungen zu beantworten. Allenfalls könnte gefragt werden, woher wir wissen, daß wir auch in Zukunft weiterhin werden solche Handlungsschemata aktualisieren können.

Auf die letzte Frage gibt es nur eine "Antwort": "Wissen"²⁸⁾

28) Nach den "Randbedingungen" (also alles, was nicht zum Bewegungsschema der Handlung gehört) einer Handlung kann im Blick auf die Zukunft noch sinnvoll gefragt werden. Bei einer technischen Handlung kann ein beliebiges Material verarbeitet werden, und man kann sich die Frage vorlegen, ob das Material auch in der Zukunft noch vorrätig sein wird. Aber darum, daß wir in der Zukunft über die für technisches Handeln erforderliche Bewegungskompetenz verfügen werden, wissen wir nicht, sondern wir verfügen über diese und aktualisieren sie immer wieder.

tun wir das nicht. Aber statt wegen einer grundsätzlich riskanten Zukunft in Nichtstun zu verfallen, richten wir uns auch für die Zukunft lieber zunächst einmal darauf ein, daß uns solche Handlungskompetenz zu Gebote stehen wird, und probieren es, wenn die Zeit kommt, mit dem schlichten Vollzug der erlernten Bewegungsschemata.

Kapitel 5: DIE DISKUSSION UM DIE GESETZESARTIGKEIT VON AUSSAGEN IN DER ANALYTISCHEN WISSENSCHAFTS-THEORIE

Wir haben die in der Mechanik aufzustellenden Verlaufs-gesetze ein Stück weit rekonstruiert. Bevor wir in der systematischen Rekonstruktion fortfahren, wenden wir uns jetzt der Diskussion innerhalb der analytischen Wissen-schaftstheorie über die Gesetzesartigkeit von Aussagen zu. Der bisher erreichte Stand unserer systematischen Überlegungen reicht dazu hin, diese Diskussion kritisch zu würdigen.

5.1. Die Konstituierung des Problems der Gesetzesartig-keit von Aussagen in der analytischen Wissenschafts-theorie

Die analytischen Wissenschaftstheoretiker der Physik le-gen sich die Frage vor, was ein "Naturgesetz" sei¹⁾. Ge-nauer fragen sie nach den Eigenschaften, die eine Aussage aufweisen muß, damit sie ein Naturgesetz darstellt. So wie die Frage formuliert ist, ist schon die Auffassung der Physik als "reine" Naturwissenschaft impliziert. Wir haben dazu oben alles Nötige gesagt und wollen uns daher Wiederholungen ersparen. Die möglichen Antworten auf die eingangs gestellte Frage sind nun weitgehend eingegrenzt durch die Art und Weise, wie die Analytiker Wissenschafts-theorie auffassen und betreiben: als logische Analyse von Satzsystemen. Die Antworten, wie ein mögliches und ange-messenes Kriterium für die Gesetzesartigkeit von Aussagen wohl lauten möge, bestehen darin, daß syntaktisch-semanti-sche Struktureigenschaften von Aussagen angegeben werden, die, wenn sie alle einer Aussage zukommen, diese zu einer

1) Das Kapitel V von STEGMÜLLER 1962 trägt den Titel: "Das Problem der Naturgesetze, der irrealen Konditio-nalsätze und des hypothetischen Rasonierens".

Gesetzesaussage machen²⁾.

Bevor wir uns solche Antworten näher anschauen, wollen wir erst genauer untersuchen, warum die Analytiker die Frage überhaupt aufwerfen, wie eine gesetzesartige Aussage eindeutig durch ihre syntaktisch-semantiche Struktur identifiziert werden kann. Denn gerade auch ein analytisch orientierter Wissenschaftstheoretiker wird von dem "Faktum des Wissenschaftsbetriebs" ausgehen, daß eine Fülle von Beispielaussagen, besonders aus der Physik nach übereinstimmender Auffassung fast aller Naturwissenschaftler als "wirkliche" Gesetzesaussagen ausgezeichnet werden können. Etwa wären mit dem allgemeinen Newtonschen Gravitationsgesetz oder dem COULOMBSchen Gesetz aus der Elektrostatik solche "Naturgesetze" angegeben, deren Gesetzescharakter von keinem Wissenschaftler in Abrede gestellt wird. Unter den Wissenschaftlern selber entstehen wohl auch selten ernste Debatten darüber, ob eine vorgeschlagene "Hypothese" überhaupt eine gesetzesartige Aussage ist, vielmehr bewegt sich die Diskussion um die Frage, ob die fragliche "Hypothese" angenommen werden kann oder ob sie verworfen werden muß.

Die Analytiker könnten sich eigentlich angesichts der von ihnen verteidigten deskriptiven Orientierung der Wissenschaftstheorie, die den vermeintlich unproblematischen Konsens der Wissenschaftlicher gutheißt und nur nochmal bestätigt, mit der exemplarischen Bestimmung des Prädikators "Naturgesetz" zufriedengeben. Trotzdem streben sie für den wissenschaftstheoretischen Prädikator "gesetzesartige Aussage" eine explizite Definition an von der Art: x ist eine gesetzesartige Aussage dann und nur dann, wenn, und dann folgt eine Liste hinreichender und notwen-

2) Für das Folgende vgl. STEGMÜLLER 1969, Kap. V, S. 273ff.

diger syntaktisch-semantischer Struktureigenschaften für gesetzesartige Aussagen. Ob eine vorgeschlagene explizite Definition auch angemessen ist, wird selbstverständlich wieder daran festgemacht, ob die meistens der dem wissenschaftlichen Vorverständnis nach gesetzesartigen Aussagen unter das Definiens der expliziten Definition fallen.

Für die Dringlichkeit einer expliziten Definition wird nun von den Analytikern auf drei Problembereiche verwiesen, die ohne eine definitorische Explikation des Gesetzesbegriffs nicht bewältigt werden können: die Aufstellung von Adäquatheitsbedingungen für wissenschaftliche Erklärungen, die Theorie der induktiven Bestätigungsfähigkeit von Aussagen und die Analyse der sogenannten irrealen Konditionalsätze.

Geht man den Schwierigkeiten genauer nach, mit denen die analytische Wissenschaftstheorie bei den jeweiligen Problemkomplexen belegen will, daß eine definitorische Explikation des Gesetzesbegriffs unumgänglich ist, so erweisen sich die genannten Schwierigkeiten sehr schnell als fiktive, selbstproduzierte Probleme, die keineswegs zwingend auf die sogenannte Gesetzesproblematik hinlenken.

Wir wollen im Folgenden an der STEGMÜLLERschen Argumentation die ersten beiden Problembereiche, Erklärung und Bestätigungsfähigkeit aufgreifen und die eben gemachte These einlösen. Wir wählen diese beiden Beispiele, weil sie auch für die Systematik einer konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik belangvoll sind und wir in die Kritik einige systematische Gegenvorschläge gut einbinden können. Das Problem der irrealen Konditionalsätze sparen wir indessen aus.

5.1.1. Erklärung und Gesetzesartigkeit - pragmatische Aspekte des HEMPEL-OPPENHEIM-Schemas

STEGMÜLLERS Kernthese zum Problembereich Erklärung und Gesetzesartigkeit besagt, daß man ohne eine strenge Unterscheidung der gesetzesartigen Aussagen von den "kontingenten" Aussagen die wissenschaftlichen Erklärungen nicht von Pseudoerklärungen abheben könne³⁾. Dabei geht STEGMÜLLER vom HEMPEL-OPPENHEIM-Schema für deduktiv-nomologische Erklärungen aus.

Nach diesem Schema ist die Erklärung einer durch einen singulären Satz E beschriebenen Tatsache eine logische Deduktion von E aus singulären Sätzen $A_1, \dots, A_n$, die die sogenannten Anfangsbedingungen beschreiben, und Gesetzesaussagen $G_1, \dots, G_m$, die für den fraglichen Gegenstandsbereich akzeptiert sind. Für Erklärungen nach dem HEMPEL-OPPENHEIM-Schema ist konstitutiv, daß die Gesetze wesentlich darin vorkommen, d.h. daß E nicht schon allein aus $A_1, \dots, A_n$ logisch deduziert werden kann.

STEGMÜLLER argumentiert nun mit der Behauptung, daß, solange nicht der Begriff der Gesetzesartigkeit präzisiert ist, auch der Begriff der wissenschaftlichen Erklärung nicht so hinreichend expliziert ist, daß die Konstruktion von Pseudoerklärungen ausgeschlossen werden kann. Unterstellt wird dabei freilich von STEGMÜLLER, daß adäquate wissenschaftliche Erklärungen weitgehend durch ihre syntaktisch-semantische Struktur gekennzeichnet werden können. Das ist aber tatsächlich nur eine Unterstellung, denn wir werden gleich sehen, daß Adäquatheitskriterien für wissenschaftliche Erklärungen ganz wesentlich pragmatische Gesichtspunkte miteinschließen. Doch wollen wir zuvor die STEGMÜLLERSchen Beispiele diskutieren:

3) Für das Folgende vgl. speziell STEGMÜLLER 1969, S. 274-276.

Die beiden Beispiele von STEGMÜLLER sind schnell referiert. Im ersten Beispiel wird die Tatsache, daß Fritz kurzsichtig ist, damit erklärt, daß er in einem Haus lebt, dessen sämtliche Bewohner kurzsichtig sind. Im anderen Fall wird die rote Farbe eines bestimmten Apfels damit erklärt, daß er in einem Korb liegt, in dem sämtliche Äpfel rot sind. Formalisiert man die beiden Erklärungsargumente, so scheinen die Erklärungen in der Tat dem HEMPEL-OPPENHEIM-Schema der Erklärung zu genügen⁴⁾.

Ich will hier ein weiteres Beispiel einer Pseudoerklärung beisteuern, das nicht sofort einem Einwand ausgesetzt ist, den wir gleich gegen die STEGMÜLLERschen Beispiele vorbringen werden. Den formalen Adäquatheitsbedingungen einer wissenschaftlichen Erklärung genügt folgendes Argument: dieser Vogel ist schwarz, weil er ein Rabe ist und alle Raben schwarz sind.

Schon nach dem ersten Beispiel gesteht STEGMÜLLER sofort zu: "Es wäre aber offenbar - - unsinnig, allgemein die Krankheit einer Person damit erklären zu wollen, daß diese Person in einem Haus lebt, dessen sämtliche Bewohner von dieser Krankheit befallen sind"⁵⁾. STEGMÜLLER meint, ein solcher Unsinn könne aufgrund der Adäquatheitsbedingungen für wissenschaftliche Erklärungen solange nicht eliminiert werden, als man die Behauptung: "Alle Bewohner dieses Hauses sind kurzsichtig" als gesetzesartige Aussage zuläßt. Also hängt nach STEGMÜLLER alles am Gesetzesbegriff.

Während man nun gegen die Beispiele sofort einwenden kann, daß die vermeintlich gesetzesartigen Aussagen in Wirklichkeit singuläre Behauptungen sind und von unserem Vorverständnis der Gesetzesartigkeit her keine Kandidaten für Ge-

4) Vgl. STEGMÜLLER 1969, S. 274f.

5) STEGMÜLLER 1969, S. 275

setze sind, sticht dieser Einwand nicht bei dem von uns hinzugefügten Beispiel mit den Raben: trotzdem ist es nicht sinnvoll, die Farbe eines Raben mit dem Hinweis zu erklären, alle Raben hätten ein Gefieder in der Farbe. Doch lassen wir fürs erste den eben vorgebrachten Einwand auf sich beruhen.

Wenn, wie STEGMÜLLER herausstreicht, die erwähnten Erklärungen unsinnig sind und jedermann das auch sofort einsieht, und zwar ohne gleich mit dem Problem der Gesetzesartigkeit von Aussagen vertraut zu sein, weshalb werden dann diese Beispiele überhaupt dazu herangezogen, die Dringlichkeit des wissenschaftstheoretischen Problems zu demonstrieren, Gesetzesartigkeit explizit zu definieren? Hier wird die Relevanz wissenschaftstheoretischer Analysevorhaben mit fiktiven und abstrusen Beispielen belegt⁶⁾.

Merkwürdig ist auch, daß STEGMÜLLER zwar die Unsinnigkeit der Erklärungen konstatiert, nicht aber darlegt, was das Unsinnige an den Erklärungen ausmacht. Unsinnig erscheinen uns die Erklärungen, da wir wissen, daß nicht jemand deshalb kurzsichtig ist, weil er in einem Haus lebt, oder daß ein Apfel nicht deshalb rot ist, weil er in einem Korb liegt.

Ginge es nur darum, die Wahrheit der Sätze "Herr N ist kurzsichtig" und "Dieser Apfel ist rot" argumentativ zu ermitteln, weil sie in der Situation nicht unmittelbar geprüft werden können, dann wäre der argumentative Schluß aus den Anfangsbedingungen und der "Gesetzeshypothese" durchaus sinnvoll: wir können nicht durch unmittelbar mit Herrn N durchgeführte Tests überprüfen, ob er kurzsichtig ist, aber da wir wissen (etwa durch glaubhafte Personen), daß in dem Haus, in dem Herr N lebt, nur kurzsichtige Men-

6) Das STEGMÜLLERSche Standardlehrbuch der Analytischen Wissenschaftstheorie wimmelt von solchen dubiosen Problemkonstruktionen.

schen wohnen (es könnte sich um ein Spezialaltersheim für schwer sehbehinderte Alte handeln), haben wir Gründe für die Wahrheit der Behauptung, daß Herr N kurzsichtig ist.

Von einer Erklärung, mit der wir eine Warum-Frage beantworten wollen, erwarten wir jedoch nicht eine argumentative Sicherung der Wahrheit des Satzes. Seine Wahrheit steht schon fest, wenn wir nach einer Erklärung der durch ihn beschriebenen Tatsache suchen. Wir erwarten durch eine Erklärung Aufschluß darüber, warum Herr N kurzsichtig ist oder geworden ist. Einer Erklärung wollen wir entnehmen, was wir tun müssen, um Herrn N von seiner Kurzsichtigkeit zu heilen oder um zu verhindern, daß Personen wie Herr N in Zukunft kurzsichtig werden.

Damit tritt die pragmatische Dimension einer sinnvollen wissenschaftlichen Erklärung ganz deutlich hervor. Eine funktionale wissenschaftliche Erklärung⁷⁾ wird abgegeben vor dem Hintergrund einer Bewertung des zu erklärenden Sachverhalts: nämlich ob er als erwünscht oder als unerwünscht eingeschätzt wird. Ist der zu erklärende Sachverhalt erwünscht, so zielt eine Erklärung darauf ab, in Erfahrung zu bringen, wie wir auch in Zukunft Situationen von diesem Typ herstellen oder wie wir dafür sorgen können, daß die Situation weiter bestehen bleibt. Ist die zu erklärende Situation unerwünscht, dann wollen wir uns durch eine Erklärung darüber orientieren, wie wir die fragliche Situation beseitigen oder aber für die Zukunft

7) Die pragmatisch relevanten Umstände, unter denen wir eine Erklärung für das Bestehen einer Situation verlangen, werden auch in LORENZEN/SCHWEMMER 1975 thematisiert, allerdings stärker für die Kausalerklärungen, die die beiden Autoren von den funktionalen Erklärungen unterscheiden; vgl. S. 240f. Nach Kausalerklärungen fragen wir immer dann, wenn Situationen eingetreten sind, die aufgrund der akzeptierten Verlaufsgesetze generellen Wirkungsbehauptungen ausgeschlossen werden konnten, also unerwartet sind.

verhindern können, daß eine Situation von demselben Typ nochmals eintritt.

Wollen wir erreichen, daß die zu erklärende Situation weiter bestehen bleibt, so fragen wir mit einer Warum-Frage genauer danach, weshalb die Situation immer noch besteht und nicht schon verschwunden ist. Und nur eine solche Erklärung stellt uns zufrieden, die die Situation mit Anfangsbedingungen $A_1, \dots, A_n$ erklärt, von denen erstens gilt, daß wir sie ihrerseits prinzipiell technisch beherrschen (d.h. wir können Situation von dem Typ $A_1 \wedge \dots \wedge A_n$ handelnd herstellen), und von denen wir zweitens wissen, daß Situationen vom Typ $\neg A_1 \wedge \dots \wedge \neg A_n$ eine Situation vom Typ der zu erklärenden Situation zum Verschwinden bringen; d.h. wir müssen die generelle Wirkungsbehauptung $\neg A_1 \wedge \dots \wedge \neg A_n \supset S$ akzeptiert haben. Wird mit einer Warum-Frage darauf abgestellt, wie wir eine Situation vom Typ der zu erklärenden Situation S in Zukunft werden erneut herstellen können, dann müssen in der Erklärung von S Anfangsbedingungen $A_1, \dots, A_n$ genannt werden, die wir technisch beherrschen und von denen wir wieder generell wissen $A_1 \wedge \dots \wedge A_n \supset S$ ⁸⁾.

Bei einer unerwünschten Situation S ist die Frage, warum S besteht, auf eine bereits bestehende Situation, die S erhält, gerichtet, so daß wir diese fragliche Situation handelnd beseitigen müssen, um S aufzuheben. Wieder wird in der Erklärung nach Anfangsbedingungen $A_1, \dots, A_n$ gesucht, die wir technisch beherrschen und von denen gilt: $\neg A_1 \wedge \dots \wedge \neg A_n \supset \neg S$. Wollen wir für die Zukunft verhindern, daß nochmals eine Situation vom Typ S sich herstellt, dann suchen wir nach Anfangsbedingungen $A_1, \dots, A_n$, die wir

8) Obwohl wir es in der Notation nicht auseinandergehalten haben, ist klar, daß in den Verlaufsgesetzen der Form $A_1 \dots A_n \supset S$, $A_1 \dots A_n$ und S schematisch beschriebene Situationen sind, während in der Erklärung die Anfangsbedingungen und S konkrete, durch singuläre Sätze beschriebene Situationen sind.

technische beherrschen und von denen $A_1 \wedge \dots \wedge A_n \vee S$ als Verlaufsgesetz akzeptiert ist. Wir wissen dann, daß wir jedenfalls das Eintreten einer Situation vom Typ $A_1 \wedge \dots \wedge A_n$ vermeiden müssen, ohne natürlich ausschließen zu können, daß eine Situation vom Typ S aufgrund anderer, von uns nicht kontrollierter und beherrschter Umstände eintritt.

Wir sehen, daß die Analyse der STEGMÜLLERschen Beispiele nicht eine Präzisierung des Gesetzesbegriffs erforderlich macht. Wir sind auf eine Analyse der pragmatischen Situierung von Erklärungen gestoßen worden: gemeinsam ist allen oben angeführten verschiedenen Situationen, in denen wir nach einer Erklärung fragen, daß wir auf "Anfangsbedingungen" zurückgehen, die wir technisch beherrschen (also herstellen oder beseitigen/verhindern können), und wo wir uns von einem technischen Eingriff in diese Anfangsbedingungen erwarten können, daß die zu erklärende Situation erhalten bleibt, wiederholbar wird, beseitigt oder eine Wiederholung in der Zukunft vermieden werden kann, je nachdem, wie wir die Situation beurteilen.

Beim Erklärungsbeispiel mit dem Apfel, aber auch beim Beispiel mit der Gefiederfarbe von Raben werden wir bei einer sinnvollen wissenschaftlichen Erklärung biologisch-genetische Theorien der Vererbung von Farbeigenschaften heranziehen, die uns unter Umständen dann in die Lage versetzen, andersfarbige Raben oder eine Apfelsorte mit der entsprechenden Farbe zu züchten.

5.1.2. Induktion und Gesetzesartigkeit

In einem Aufsatz über das Problem der Induktion zitiert STEGMÜLLER zu Beginn ein statement des Philosophen C.D. BROAD, daß die Induktion der Siegeszug der Naturwissenschaften und der Schmach der Philosophie sei⁹⁾. Daß das

9) Vgl. STEGMÜLLER 1971, in LENK (Hrsg.) 1971, S. 13

Induktionsproblem der wissenschaftstheoretischen Philosophie nicht zur Ehre gereicht, das mag so sein. Unübersehbar ist inzwischen die Literatur über das Induktionsproblem angeschwollen, trotzdem gibt es nicht einmal eine einhellige Formulierung des Problems der Induktion. Den Problemkomplex Induktion, der die Philosophen seit HUME ununterbrochen beschäftigt hat, gelöst zu haben, traut sich kaum ein Wissenschaftsphilosoph zu behaupten: nur POPPER und die von ihm ausgehende wissenschaftstheoretische Strömung des Kritischen Realismus halten das Problem durch den "methodologischen Falsifikationismus" für erledigt. Die frühen Vertreter und Vorläufer der konstruktiven Wissenschaftstheorie haben sich immer eher als Anti-Induktionisten (z.B. Exhaustion versus Induktion bei DINGLER und MAY) verstanden und sind als solche auch von Vertretern der etablierten Naturwissenschaften und der empiristisch orientierten Wissenschaftstheorie angegangen worden. Das "Lehrbuch" der konstruktiven Wissenschaftstheorie von LORENZEN/SCHWEMMER, aber auch z.B. das Werk von JANICH/KAMBARTEL/MITTELSTRASS enthalten keine terminologische Rekonstruktion des Begriffs der Induktion.

Daß sich die konstruktive Wissenschaftstheorie in Sachen Induktion eher in Abstinenz übt, kontrastiert natürlich mit der Bedeutung, die der "induktiven Methode" von Wissenschaftlern und Wissenschaftstheoretikern eingeräumt wird. Es ist ja durchaus üblich, die "induktive Methode" für das die empirischen Wissenschaften charakterisierende methodische Vorgehen zu halten und diese dadurch von der "deduktiven Methode" der "formalen" Wissenschaften Logik, Mathematik und Geometrie abzusetzen.

Es scheint mir aber richtig zu sein, wenn die konstruktive Wissenschaftstheorie sich von dieser allgemein üblichen Bewertung des Induktionsproblems nicht beeindrucken läßt. In diesem Abschnitt soll uns nur interessieren, wel-

chen Zusammenhang die analytischen Wissenschaftstheoretiker zwischen der Gesetzesartigkeit von Aussagen und der Induktion herstellen.

Der Zusammenhang zwischen der Gesetzesartigkeit von Aussagen und dem Induktionsproblem ist vor allem in den Arbeiten von N. GOODMAN herausgestellt worden¹⁰⁾. GOODMAN versteht unter dem Induktionsproblem die Frage, wann wir begründeterweise Voraussagen zukünftiger Situationen, Ereignisse machen. Für uns sind nun i.a. wissenschaftlich begründete Prognosen solche, die aus einem Wissen über vergangene oder gegenwärtige Situationen aufgrund akzeptierter (Verlaufs-)Gesetze abgeleitet werden können.

GOODMANs These ist die, daß nur, wenn wir gesetzesartige Aussagen von nicht-gesetzesartigen, akzidentiellen Aussagen klar unterscheiden können, wir die Bedingungen begründeter und zulässiger Prognosen aufzuklären in der Lage sein werden. Nur wenn G eine gesetzesartige Aussage ist, scheint es nämlich vernünftig zu sein, von den bisher positiven Einzelfällen ausgehend, die G bestätigen, zu erwarten, daß auch die noch nicht geprüften Fälle G bestätigen werden. Haben wir die Hypothese, daß Körper aus Kupfer gute elektrische Leiter sind, bisher an den geprüften Gegenständen aus Kupfer bestätigt gefunden, so werden wir erwarten, daß sich das auch für weitere, bisher noch nicht geprüfte Körper aus Kupfer bewahrheiten wird¹¹⁾.

Negiert man nach GOODMAN den Unterschied zwischen gesetzesartigen und akzidentiellen Aussagen, so läßt sich zu einem gut bestätigten Gesetz G eine Hypothese H konstruieren, die ebenso "gut bestätigt" ist wie G, die aber zu einer Voraussage führt, die unverträglich ist mit der entspre-

10) Vgl. GOODMAN 1975 (dtsh. Ausgabe), besonders S. 81ff; GOODMAN wird referiert von STEGMÜLLER 1969, S. 276-282.

11) Das Beispiel stammt von STEGMÜLLER 1969, S. 277

chend aus G gefolgerten Voraussage. Doch ist das Beispiel, mit dem GOODMAN seine These untermauert, wieder zu hergeholt, um wirklich Beweiskraft in unserem Fragezusammenhang zu haben.

Das Beispiel sieht folgendermaßen aus: Das Gesetz "Alle Smaragde sind grün" ist bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt t_0 durch zahlreiche Prüfungen bestätigt und berechtigt zu der Voraussage, daß auch die in Zukunft gefundenen und daraufhin geprüften Smaragde grün sein werden. Jetzt wird ein neues Prädikat "grot" definiert, das denjenigen Körpern zugesprochen wird, die vor dem Zeitpunkt t_0 auf ihre Farbe geprüft worden sind und sich als grün erwiesen haben, oder die nach dem Zeitpunkt t_0 geprüft werden und rot sind.

Dann bestätigen dieselben Fälle, die den Satz "Alle Smaragde sind grün" bestätigt haben, auch die Hypothese "Alle Smaragde sind grot". Aus der letzteren Hypothese folgt aber als Voraussage für zukünftige Fälle, die ja per definitionem zu einem späteren Zeitpunkt als t_0 stattfinden, daß die Smaragde in Zukunft sich als rot erweisen werden, was der aus "Alle Smaragde sind grün" gefolgerten Voraussage widerspricht¹²⁾. Einer der beiden Sätze darf also nicht als gesetzesartige Aussage zugelassen werden, folgern GOODMAN und STEGMÜLLER.

Im Ernst besagt das Beispiel nichts, denn es ist schlicht unsinnig. Und den Unsinn daran erkennt man, ohne daß wir über ein Kriterium für die Gesetzesartigkeit von Aussagen schon verfügen müßten. Unsinnig ist die Einführung des Prädikators "grot": wir haben zunächst die beiden exemplarisch einzuführenden, konträren Farbprädikatoren "rot" und "grün", die, wie alle Prädikatoren, ohne Bezugnahme auf einen bestimmten, ausgezeichneten Zeitpunkt eingeführt werden. Da wir schon aus der Einführung wissen, daß sich die

12) Vgl. die ausführliche Diskussion des GOODMANschen Beispiels bei STEGMÜLLER 1969, S. 278ff.

beiden Prädikatoren wechselseitig ausschließen, ist klar, daß wir die beiden Prädikatoren auch nicht durch Bezug auf einen willkürlich gewählten Zeitpunkt wieder adjunktiv zu einem neuen Prädikator verknüpfen sollen, der dann im Hinblick auf die Prüfung der mit ihm vollzogenen Prädikationen sowieso wieder in zwei deutlich unterschiedene Teilprädikationen zerfällt.

Der Prädikator "grot" ist eben weder für akzidentielle noch für gesetzesartige Aussagen sinnvoll, wie auch immer das Unterscheidungskriterium für die beiden Aussagearten lauten mag. Außerdem ist es generell ohne jeglichen Sinn, Prädikatoren unter Auszeichnung willkürlich gewählter Zeitpunkte einzuführen, denn, wie wir bei dem generellen Einwand gegen das Konzept der theoretischen Begriffe bereits ausgeführt haben, sollen Prädikatoren der situationsdistanzierenden und handlungsorientierenden Verständigung über vergangene, gegenwärtige und zukünftige Situationen dienen, deren zeitliches Auftreten weder vorweggenommen werden soll noch vorweggenommen werden kann. Überprüfungssituationen mittels fest gewählter Zeitpunkte zeitlich zu fixieren, widerspricht der Funktion von Prädikatoren. Das ganze GOODMANsche Argument erinnert fatal an die schon im vorigen Abschnitt kritisierte Art der Analytiker, wissenschaftstheoretische Probleme zu erzeugen.

Wie im Fall der Erklärungen müssen wir auf den sinnvollen Kern des Problems, wann und warum bestimmte Erwartungen begründet sind, eine wesentlich pragmatische Antwort geben. Wir alle handeln und handeln immer wieder, wobei unser Handeln sehr oft die gewünschte Wirkung zeitigt. Was sollen wir jemandem antworten, der uns fragt, warum wir damit rechnen, daß wir auch in Zukunft solche Handlungsweisen werden ausführen können und sie mit den gewünschten Wirkungen verbunden sein werden?

Wir sollten ihm antworten, daß wir natürlich nicht sicher sind, was die Zukunft bringen wird, daß wir aber, ehe wir die Hände in den Schoß legen werden und uns in eine ungewisse Zukunft reiben lassen, was nachweislich in der Vergangenheit Menschen schon das Leben gekostet hat, wir uns lieber auf unsere handelnd gemachten Erfahrungen stützen und versuchen werden, unsere Zukunft aktiv in die Hand zu nehmen und zu beeinflussen.

Auch er, der vom philosophischen Induktionsproblem angehauchte Frager kann uns keine andere Alternative anbieten und wird i.a. so handeln, wie wir das in der Antwort vorschlagen¹³⁾. Macht er aber gar keinen prinzipiellen, induktionstheoretischen Einwand, sondern vermutet für eine geplante, zukünftige Praxis ein eventuelles Scheitern, weil er etwa der Meinung ist, daß relevante Umstände für eine ungestörte Ausführung der beabsichtigten Handlungen von uns in der Vergangenheit nicht beachtet und in Rechnung gestellt worden sind, so bewegt er sich damit längst auf dem Boden konkreter Wissensbildung, der die pragmatische Lösung des "Induktionsproblems" bereits als Orientierung zugrundeliegt.

5.2. Gesetzesaussagen als generelle Subjunktionen — eine Kritik

Für endgültig gelöst halten die Vertreter der analytischen Wissenschaftstheorie die Definition der gesetzesartigen Aussage nicht. Trotzdem zeichnen fast alle eine Bestimmung als notwendige Bedingung der Gesetzesartigkeit aus: gesetzesartige Aussagen sind wesentlich Allsätze, oder

13) Diese Antwort auf das Induktionsproblem ist entlehnt der Analyse von REICHENBACH; vgl. REICHENBACH 1968, Kap. 14, S. 258-280, besonders S. 277. Den Hinweis auf REICHENBACH verdanke ich einer Fußnote bei KAMBARTEL 1968, S. 92.

wesentlich generelle, nicht analytisch wahre Sätze¹⁴⁾. Betrachtet man die in der analytischen Wissenschaftstheorie fungierenden Beispiele, so handelt es sich fast ausnahmslos sogar um generelle Subjunktionen¹⁵⁾. Beispielsätze, auf die wir dort stoßen, sind "Metalle dehnen sich bei Erwärmung aus" oder der bei POPPER in der "Logik der Forschung" zu findende Satz "Alle Raben sind schwarz"¹⁶⁾, der bezeichnenderweise in einem populärwissenschaftlichen Werk über die moderne, analytische Wissenschaftstheorie zum Standardbeispiel gemacht wird, an dem die wichtigsten Ergebnisse der analytischen Wissenschaftstheorie wie an einem roten Faden besprochen werden¹⁷⁾. In der formallogischen Analyse werden diese Sätze rekonstruiert durch: $\bigwedge_x. x \in F \rightarrow x \in G.$, also etwa $\bigwedge_x. x \in \text{Metallstück} \wedge x \in \text{erwärmen} \rightarrow x \in \text{ausdehnen}.$

Nun wird einem leicht der Einwand kommen, daß die typischen Gesetze der Physik quantitative Gesetze, also Funktionsgleichungen (Differentialgleichungen) sind. Aber selbst solche Funktionsgleichungen werden noch auf die logische Form von generellen Subjunktionen gebracht. Ein Beispiel liefert STEGMÜLLER mit seiner Formalisierung der sogenannten NEWTONschen Grundgesetze der Mechanik¹⁸⁾.

Wir wollen jetzt zeigen, daß die Verlaufsgesetze unangemessen als generelle Subjunktionen rekonstruiert sind. Wir

14) Aus der vielen Literatur seien nur zwei Werke genannt: POPPER 1969 (dritte, vermehrte Aufl.), S. 39 und v. KUTSCHERA 1972 (Bd.II), S. 343.

15) Dazu schaue man sich nur einmal das große Lehrbuch der Analytischen Wissenschaftstheorie von STEGMÜLLER an.

16) POPPER 1969, S. 39

17) Ich meine das populärwissenschaftliche Buch über die analytische Wissenschaftstheorie von W.R.FUCHS. Dieses Buch deckt in mancher Hinsicht unfreiwillig die Schwächen der analytischen Wissenschaftstheorie auf, die in den "wissenschaftlichen" Darstellungen durch den Wust an Formalisierungen nur allzu leicht verdeckt werden können.

18) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 115

unterteilen die Analyse in zwei Teilschritte. Wir diskutieren zunächst, ob a) die Verlaufsgesetze Subjunktionen sind, daran anschließend betrachten wir, in welchem Sinne die Verlaufsgesetze wesentlich generelle Sätze sind b).

ad a) Verlaufsgesetze als Subjunktionen: Wir fangen an mit einer mehr rekapitulierenden Betrachtung der generellen Wirkungsbehauptungen der Form $S (!)h S'$ bzw. $S V S'$, die das nicht metrisierte (vorwissenschaftliche) technische Wissen ausmachen. Wir haben die generellen Wirkungsbehauptungen rekonstruiert anhand einer schrittweisen Einführung des Prädikators "bewirken". Die mit $S (!)h S'$ bzw. $S V S'$ notierten generellen Wirkungsbehauptungen lassen sich wiedergeben durch: Die Ausführung der Handlung h in einer Situation vom Typ S bewirkt das Eintreten einer Situation vom Typ S' bzw. eine Auslösung des Verlaufs V in einer Situation vom Typ S bewirkt das Eintreten einer Situation vom Typ S' . So formuliert, enthalten die generellen Wirkungsbehauptungen gar keinen Junktor. Und in der Tat läuft unsere Kritik daran, Verlaufsgesetze als Subjunktionen zu behandeln, auf die These hinaus, daß "bewirken" ein Prädikator ist und nicht durch die logische Partikel "sub" ersetzt werden kann.

Den Prädikator "bewirken" lernen wir, wie wir oben ausführlich dargestellt haben, indem wir uns aktiv in Handlungszusammenhänge begeben. Wir handeln in einer Situation vom Typ S auf die Weise h bis die Situation vom Typ S' sich einstellt. In Anspruch genommen wird dabei nur unsere "Grundfähigkeit"¹⁹⁾, Handlungen nacheinander auszuführen: erst tun wir h , dann prüfen wir, ob eine Situation vom Typ S' wirklich

19) Von den Grundfähigkeiten, die wir bei der Konstruktion unseres Wissens immer schon in Anspruch nehmen müssen, spricht vor allem DINGLER; vgl. DINGLER 1964, S. 33ff.

besteht²⁰⁾. Exemplarisch wird auch die Erweiterung von "bewirken" im Zusammenhang mit Verläufen und dem generellen Wissen $S \vee S'$ vorgenommen: handelnd führen wir eine Situation vom Typ S herbei, so daß ein Verlauf V einsetzt, danach überprüfen wir, ob $V \vee S$ in eine Situation vom Typ S' transformiert hat.

Wir wollen uns jetzt klar machen, warum die Sätze $S (!) \vee S'$ und $S \vee S'$ nicht äquivalent sind mit $S \rightarrow S'$. Dazu müssen wir in der gebotenen Kürze auf die Einführung des Subjunktors zu sprechen kommen. Die konstruktive Logik²¹⁾ führt die logischen Partikeln über die Angabe von Angriffs- und Verteidigungsregeln²²⁾ dialogisch ein. Eine Argumentation (stilisiert auf einen Dialog zwischen zwei Gesprächspartnern) um eine Subjunktion wird bekanntlich geregelt durch:

		$a \rightarrow b$
$a ?$		$?$
(a)		b

$a \rightarrow b$ wird argumentativ in Frage gestellt, indem das Antecedens a behauptet wird. Kann a argumentativ begründet werden, so muß jetzt die Behauptung b im Dialog eingelöst werden. $a \rightarrow b$ ist dann zu Recht (vorläufig) behauptet worden, wenn a widerlegt oder b gezeigt werden kann. Das alles ist bekannt.

20) "Was es heißt, eine Handlung und noch eine Handlung - nacheinander - zu vollziehen, wird beim Leser vorausgesetzt: andernfalls müßte er praktischen Unterricht nehmen, um dies zu lernen."; LORENZEN 1962, S. 20.

21) Vgl. das Logik-Kapitel aus LORENZEN/SCHWEMMER 1975.

22) Diese martialische Terminologie der Konstruktivisten behagt mir nicht. Ich versuche sie möglichst zu umgehen. Die "Wahrheit" dieser Terminologie steckt darin, daß wissenschaftliche "Diskussionen" in der Tat sehr oft aggressive Kampfkonstellationen sind, wo jeder über den anderen triumphieren will. Wir sind alle davon nicht frei; aber dafür sensibel zu werden, bedeutet auch, einen solch verräterischen Sprachgebrauch bewußt zu problematisieren.

Interessant wird es für uns erst, wenn man fragt, wie sprachpragmatisch begründet werden kann, den Subjunktorktor in jede "rational aufgebaute" Sprache aufzunehmen. Da gehen auch die Meinungen der konstruktiven Logiker durhaus auseinander. Ich möchte mich hier der These von U.BERK²³⁾ anschließen, daß der Subjunktorktor sinnvoll erst dann gebraucht wird, wenn bereits im einzelnen Argumentationsregeln für bestimmte Arten von Sätzen zur Verfügung stehen.²⁴⁾

Das läßt sich gut an dem oben wiedergegebenen Dialogschema für die Subjunktion aufzeigen: das Entscheidende bei der Begründung einer Subjunktion ist ja, daß das Sukzedens b argumentativ begründet wird, in dem auf das schon begründete Antezedens a Bezug genommen wird. Eine solche argumentative Bezugnahme läßt sich aber nur über bereits akzeptierte Regeln für die Argumentation um bestimmte Arten von Sätzen leisten.

Eine Subjunktion $a \rightarrow b$ verstehe ich daher folgendermaßen: Aufgrund explizit vereinbarter und akzeptierter Argumentationsregeln kann der Satz b unter Hinzunahme von a (und eventuell der zu seiner Begründung im Dialog herangezogenen Argumente) argumentativ begründet werden. Es liegt aber keine Implikation vor, weil in der Argumentation um die Subjunktion auf bestimmte, materiale Argumentationsregeln für gewisse Satzarten zurückgegriffen wird.

Wichtig für unsere Überlegungen zur formallogischen Analyse der Verlaufsgesetze ist nun noch der Umstand, daß eine Subjunktion schon dann vollständig begründet ist, wenn die kontraponierte Subjunktion $\neg b \rightarrow \neg a$ vollständig begründet

23) Dies hat BERK in seiner Dissertation, Erlangen 1976, ausgeführt. Er selber knüpft mit diesem Vorschlag an frühe Logikrekonstruktionen von LORENZEN 1969 an.

24) Wir wollen unter einer Argumentationsregel eine Norm verstehen von der Art: Wird eine Orientierung eines bestimmten Typs O akzeptiert, dann akzeptiere oder verwerfe eine Orientierung eines bestimmten Typs O'!

werden kann. Das gilt zwar nur klassisch, aber da die in den Verlaufsgesetzen der empirischen Wissenschaften vorkommenden metrischen Situationsbeschreibungen wahrheitsdefinit sind, darf die klassisch gültige Äquivalenz benützt werden.

Kommen wir nach diesem Einschub über die Subjunktion auf die generellen Wirkungsbehauptungen zurück: "bewirken" ist wie gesagt ein exemplarisch-operativ eingeführter Prädikator und die generellen Wirkungsbehauptungen der Form $S (!)h S'$ und $S V S'$ werden geprüft, indem wiederholt auf die Weise h gehandelt wird in einer Situation vom Typ S bzw. wiederholt der Vorgang V ausgelöst wird dadurch, daß wir eine Situation vom Typ S bewirken, und dann (im Sinne eines zeitlichen Nacheinander, nicht im Sinne einer argumentativen Verknüpfung) geprüft wird, ob eine Situation vom Typ S' eintritt. Diese Überprüfung einer generellen Wirkungsbehauptung ist ersichtlich etwas anderes als die rein argumentativ vollzogene Einlösung einer Subjunktion, indem man sich auf bereits akzeptierte Argumentationsregeln dabei beruft.

Ein weiterer Einwand dagegen, die generellen Wirkungsbehauptungen wie Subjunktionen zu behandeln, stützt sich auf die besagte Kontrapositionsregel, die eben für Subjunktionen eine hinreichende Begründungsmöglichkeit eröffnet, nicht aber für generelle Wirkungsbehauptungen. Eine Subjunktion ist schon dann begründet, wenn allein die Subjunktion $\neg b \rightarrow \neg a$ jeweils begründet werden kann. Das aber gilt für generelle Wirkungsbehauptungen gerade nicht.

Macht man sich deutlich, warum das so ist, erhält man zugleich einen Hinweis darauf, wie das sogenannte Raben-Paradoxon aus der analytischen Diskussion der Bestätigungstheorien auf relativ einfache und elegante Weise gelöst werden kann.

Die auf den ersten Blick plausibel erscheinende Konstruktion des Raben-Paradoxons sieht vereinfacht so aus²⁵⁾: wie immer die Bestätigungsrelation im einzelnen auch definiert sein mag, ein adäquater Bestätigungsbegriff muß der Bedingung genügen, daß ein Satz E, der eine Hypothese H bestätigt, auch jede zu H logisch äquivalente Hypothese H' bestätigt. Ein "Gesetz"²⁶⁾ $\bigwedge_x. x \in F \rightarrow x \in G$ wird durch eine Konjunktion $N \in F \wedge N \in G$ bestätigt. Außerdem ist $\bigwedge_x. x \in F \rightarrow x \in G$ logisch äquivalent mit dem "Gesetz" $\bigwedge_x. \neg x \in G \rightarrow \neg x \in F$, das durch die Konjunktion $\neg x \in F \wedge \neg x \in G$ bestätigt wird. Nach dem obigen Adäquatheitskriterium müßte die zuletzt genannte Konjunktion aber auch das "Gesetz" $\bigwedge_x. x \in F \rightarrow x \in G$ bestätigen. Das ist paradox, läuft es doch darauf hinaus, daß der Satz "Alle Raben sind schwarz" bestätigt würde durch das Vorweisen weißer Nashörner oder blauer Streichholzschachteln²⁷⁾.

Worin besteht das Paradoxe einer solchermaßen vorgenommenen Bestätigung? Bezeichnenderweise wird das pragmatische Vorverständnis, das wir von Gesetzesaussagen und den für sie in Frage kommenden Bestätigungen haben und das uns die oben konstruierte Bestätigung allererst widersinnig erscheinen läßt, von den analytischen Autoren nicht expliziert, sondern sie appellieren nur daran beim Leser. Bilden wir

25) Zum Rabenparadox vgl. KUTSCHERA 1972, S. 417ff. und LENZEN 1974, Kap. IV.

26) Auch LENZEN faßt Gesetze als generelle Aussagen der Form "Für alle Dinge x gilt:...." und behauptet dann weiter, daß die einfachsten Gesetze die logische Struktur genereller Subjunktionen besäßen (S. 15). Im Rabenparadox wird dann davon auch bei ihm Gebrauch gemacht.

27) GOODMAN kommentiert das Rabenparadox sehr witzig und ironisch: "Die Möglichkeit, Theorien über Vögel zu prüfen, ohne in den Regen hinaus zu müssen, ist zu schön, um wahr zu sein"; GOODMAN 1975, S. 94.

technisches Wissen in Gestalt genereller Wirkungsbehauptungen, dann interessiert uns (pragmatischer Aspekt), was wir tun müssen, um, ausgehend von einer Situation, in der eine Situation vom Typ S' noch nicht besteht, eine solche herbeizuführen. Das erkunden und probieren wir aus, indem wir in einer Situation vom Typ S auf die Weise h handeln bis eine Situation vom Typ S' sich einstellt bzw. wir einen Verlauf V auslösen und für seinen störungsfreien Ablauf sorgen.

Damit wir eine generelle Wirkungsbehauptung überhaupt akzeptieren, müssen solche positiven Tests vorgewiesen werden können. Selbstverständlich ist die Frage, wann wir generelle Wirkungsbehauptungen annehmen oder verwerfen, dadurch nicht erschöpfend beantwortet; an späterer Stelle werden wir diese Frage erneut aufnehmen.

An dieser Stelle gilt es nur einzusehen, daß es uns bei der Bildung technischen Wissens entscheidend auf solche reproduzierbaren Tests ankommt, und wir ohne solche reproduzierbaren Handlungs- oder Experimentiererfahrungen jedenfalls einer generellen Wirkungsbehauptung nicht zustimmen und sie bei der Planung unseres technischen Handelns in Rechnung stellen werden.

Das heißt nun weiter, daß es uns zunächst nicht interessiert, was daraus gefolgert werden kann, wenn eine Situation vom Typ S' nicht besteht oder hergestellt worden ist. Wir würden sinnvollerweise $S (!)h S'$ bzw. $S \vee S'$ nicht akzeptieren, wenn wir nur negativ wiederholt geprüft hätten, daß, wenn $\neg S'$ besteht, dann $\neg S \vee \neg (!)h$ bzw. $\neg S \vee \neg V$ wahr ist. Daß in diesem Sinne generelle Wirkungsbehauptungen nicht gleichwertig sind mit ihrer "Kontraposition" scheint mir ein hinreichend starker Grund zu sein, sie nicht als Subjunktionen aufzufassen. Von dieser Voraussetzung abzugehen, löst dann auch auf einfache Weise das

Raben-Paradox der Bestätigung²⁸⁾.

Dieses Ergebnis unserer Überlegungen können wir ohne weiteres auf die Verlaufsgesetze der Mechanik übertragen. Denn diese sind "quantitative" Wirkungsbehauptungen der Form $S \vee S'$, wobei V eine Bewegungsform, S' zeitabhängige Ortsbeschreibungen darstellen.

Nahegelegt wird eine Rekonstruktion der Verlaufsgesetze als Subjunktionen auch dadurch, daß die Situation vom Typ S , die in einem Verlaufsgesetz $S \vee S'$ vorkommt, sehr oft eine hinreichende Bedingung (Anfangsbedingung) für S' genannt wird. Im allgemeinen rekonstruiert man die Rede von hinreichenden und notwendigen Bedingungen durch Subjunktio-

28) Diese mögliche Auflösung des Rabenparadox bleibt auch bei LENZEN nicht ganz unerwähnt. Er erörtert bei den Lösungsversuchen auch den von Wissenschaftstheoretikern wie BLACK oder v.WRIGHT in Betracht gezogenen Ansatz, die Rekonstruktion von den umgangssprachlich durch "Alle F's sind G's" wiedergegebenen Sätzen als Subjunktionen fallenzulassen. Letzten Endes aber bleibt LENZEN viel zu stark auf formal-logische Präzisierungen fixiert, wodurch er sich eine mehr pragmatische Argumentation zum Rabenparadox verbaut: vgl. LENZEN 1974, S. 165ff. Auch die bei LENZEN erwähnten Autoren sehen m.E. nicht in der gebotenen Klarheit, was Gesetze, verstanden als Wirkungsbehauptungen, eigentlich sind. Dazu müßten sie sich erst einmal von der Vorstellung freimachen, daß Sätze wie "Alle F's sind G's" allenfalls Behauptungen über die Vollständigkeit von Klassifikationen sind, aber eben gerade keine typischen "Naturgesetze", in denen Wirkungszusammenhänge dargestellt werden. - Mir ist nicht klar, warum in der analytischen Literatur zwar darauf verwiesen wird, daß physikalische Gesetze Differentialgleichungen, also Funktionsgleichungen sind, gleichwohl dieser Einsicht in den Bestätigungstheorien nicht Rechnung getragen wird. Dort behandelt man die Gesetze wie Klassifikationsbehauptungen und nimmt, freiwillig oder unfreiwillig, damit die Irrelevanz der Bestätigungstheorien für die typischen "Naturwissenschaften" wie die Physik an ganz früher Stelle bereits in Kauf.

nen: A ist eine hinreichende Bedingung für B, wenn $A \rightarrow B$ gilt, A ist eine notwendige Bedingung für B, wenn $\neg A \rightarrow \neg B$ oder $B \rightarrow A$ gilt. Ein solcher Gebrauch der Rede von hinreichenden und notwendigen Bedingungen mag in der Mathematik problemlos hingehen, für empirische Wissenschaften, die Wirkungszusammenhänge untersuchen, ist dieser Gebrauch aber eher irreführend. Wo zwischen S und S' keine Argumentationsverknüpfung besteht, sondern ein Wirkungszusammenhang, lerne ich hinreichende und notwendige "Bedingungen" zwischen Situationstypen nicht dadurch, daß ich einfach per definitionem eine Subjunktion anschreibe. Sondern ich stelle handelnd S immer wieder her und dann tritt S' ein ("hinreichende Bedingung") oder ich stelle $\neg S$ her und verhindere S' ("notwendige Bedingung")²⁹⁾. Damit ist der erste Schritt unserer Erörterung der Gesetze als mögliche generelle Subjunktionen abgeschlossen³⁰⁾.

-
- 29) Zur Rekonstruktion der Rede von hinreichenden und notwendigen Bedingungen macht v.WRIGHT 1974 sehr ähnliche Vorschläge. In ihnen wird insgesamt der operative Handlungsaspekt unseres "naturwissenschaftlichen" Gesetzeswissen viel stärker berücksichtigt als dies in der analytischen Wissenschaftstheorie üblich ist.
- 30) Mich selber haben die Überlegungen zu diesem Teil der systematischen Diskussion zu der Einsicht geführt, daß die formale Logik für die wissenschaftstheoretische Analyse der empirischen Wissenschaften in ihrer Reichweite bei weitem überschätzt wird. Die moderne formale Logik ist ja auch historisch zunächst im Kontext einer wissenschaftstheoretischen Analyse der Mathematik entwickelt worden und es ist in gewisser Weise ein diskussionsbestimmendes Erbe des Wiener Kreises, die formale Logik zum universellen Organ in der Wissenschaftstheorie zu machen. Viele Wissenschaftstheoretiker der analytischen Richtung sehen ihre Aufgabe bereits dann als erfüllt an, wenn sie vorliegende wissenschaftliche Theorien auf der Grundlage der formalen Logik formalisiert und daran einige formale Analysen (wie z.B. Untersuchungen der Widerspruchsfreiheit oder Ableitbarkeitsbeziehungen) durchgeführt haben. Das Ganze ist oft erschreckend trivial, langweilig und trägt zur methodischen Erhellung bezogen auf den betriebenen formalen Aufwand kaum etwas bei. Die Fixierung auf die formale Logik verstellt sehr den Blick auf das Wesentliche und trägt Vorurteilen in die Analyse hinein, von denen man sich bei der allgemeinen Hochschätzung der "exakten" formalen Logik nur schwer wieder lösen kann. Ein maßvoller Umgang mit der formalen Logik ist daher dringend am Platze. Man darf nicht voreilig wissenschaftstheoretische Analysen

ad b) Verlaufsgesetze als generelle Sätze: Niemand stellt wohl in Abrede, daß gesetzesartige Aussagen wesentlich generell sind. Auch wir haben ja Verlaufsgesetze als generelle Wirkungsbehauptungen rekonstruiert. Daß die Wirkungsbehauptungen wesentlich generell sind, bedeutet zunächst nichts anderes, als daß die in ihnen vorkommenden Situationsbeschreibungen schematisch sind, d.h. an Stelle bestimmter Nominatoren halten dort schematische Buchstaben den Platz frei, wo beim Übergang zur Beschreibung einer bestimmten Situation dann die entsprechenden Nominatoren einzusetzen sind. In die Beschreibung einer konkreten Situation die vorkommenden Nominatoren gegen schematische Buchstaben auszutauschen und für diese dann wieder bestimmte, u.U. andere Nominatoren einzusetzen, bereitet niemandem ernste Schwierigkeiten. Wer das beherrscht, lernt problemlos die Rede von einer Situation eines bestimmten Typs. Eine Situation S ist von demselben Typ wie eine Situation S', wenn durch geeignete Ersetzung der Nominatoren die Beschreibung von S' aus der Beschreibung von S gewonnen werden kann.

In der Auffassung der analytischen Wissenschaftstheorie sind die Gesetze generell, weil in ihnen mindestens eine durch einen vorangestellten Allquantor gebundene Variable vorkommt. Das ist nur eine Differenz in der Notation zu unserer Auffassung! Wir haben auf den Gebrauch von Allquantoren verzichtet, weil die uns eigentlich interessierenden Verlaufsgesetze der Mechanik wie der gesamten Physik überhaupt Funktionsgleichungen der Form $y=f(x)$ sind und es in der Mathematik nicht üblich ist, die in Funktionsgleichungen auftretenden Variablen für die Argumente und den Funktionswert durch Quantoren zu binden.

auf syntaktisch-semantische Strukturuntersuchungen reduzieren und die Strukturen auf die Formen der formalen Logik trimmen! Man muß inhaltlich argumentieren. Das kann jedoch trotzdem klar und verständlich bleiben kann, zeigt die "Logische Propädeutik".

Selbst wenn nun in den Gesetzesaussagen keine Nominatoren vorkommen, sondern nur durch Allquantoren gebundene Variable, so ist damit keineswegs sichergestellt, daß das Gesetz wesentlich generell ist. Wesentlich generelle Aussagen dürfen sich nicht auf bestimmte Individuen oder Raum-Zeitstellen beziehen und dürfen nicht nur endliche viele Anwendungsfälle besitzen. So jedenfalls wird von Seiten der Analytiker der Terminus "wesentlich generell" erläutert³¹⁾.

Um auszuschließen, daß sich eine Gesetzesaussage nicht auf ein bestimmtes Raum-Zeit-Gebiet oder ein bestimmtes Individuum bezieht und nur endlich viele Anwendungsfälle aufweist, genügt nicht, die formale Bestimmung einzuhalten, das Gesetz nominatorenfrei zu formulieren und alle Variablen durch Allquantoren zu binden. Es muß etwas gesagt werden über die zulässigen Prädikatoren (Begriffe), die in dem Gesetz vorkommen dürfen. Genau über solche, in Gesetzesaussagen zugelassene, sogenannte nomologische Prädikate wird in der analytischen Wissenschaftstheorie eine kontroverse Debatte geführt.

Doch ist die Charakterisierung wesentlich genereller Aussagen durchaus problematisch. So müssen z.B. die Verlaufs-gesetze der Mechanik, wie wir später noch genauer diskutieren werden, auf ein Bezugssystem bezogen werden. Selbst wenn wir Verlaufsgesetze für die Realisierung von Bewegungsformen nur relativ zur Erde aufstellen würden, was durchaus sinnvoll sein kann, so würde ein solcher Bezug auf ein bestimmtes Körperindividuum (Erde) an der Gesetzesartigkeit der Bewegungsgesetze nicht das Geringste ändern.

Den zweiten Teil des Kriteriums, wann eine Gesetzesaussage wesentlich generell ist, nämlich die Bedingung, daß es nicht nur endlich viele Anwendungsfälle geben dürfe, schrän-

31) Vgl. STEGEMÜLLER 1969, S. 302

ken die Analytiker selber ein. Formuliert man etwa die Planetengesetze allgemein als Gesetze für Zentralbewegungen, dann stellt sich heraus, daß die Planetengesetze in Gestalt der KEPLERschen Gesetze nur auf endlich viele Fälle angewendet werden. Die Analytiker helfen sich hier mit der Unterscheidung von fundamentalen und abgeleiteten Gesetzen. Demzufolge ist das allgemeine NEWTONsche Gravitationsgesetz ein Fundamentalgesetz und die aus ihm erklärbaren Planetengesetze sind abgeleitete Gesetze. Nur von den Fundamentalgesetzen muß gefordert werden, daß sie nicht nur endliche viele Anwendungsfälle haben.

Daß die Fundamentalgesetze nicht nur auf endlich viele Fälle anwendbar sein sollen, soll nicht als empirisches Wissen bekannt sein, schon allein deshalb, weil das Kriterium wegen der Endlichkeitshypothese der physikalischen Kosmologie vermutlich unerfüllbar ist. Die Gesetzesartigkeit von Aussagen soll eine entscheidbare Eigenschaft von Aussagen sein, die nicht abhängig gemacht werden soll von einer nicht beweisdefiniten empirischen Hypothese über die Endlichkeit oder Nicht-Endlichkeit des Universums. "Für ein Fundamentalgesetz G muß verlangt werden, daß aus der Kenntnis der Bedeutungen der in G vorkommenden Ausdrücke, ohne Hinzuziehung von Tatsachenwissen, weder folgen darf, daß G sich auf spezielle Objekte oder Raum-Zeit-Stellen bezieht, noch daß der Anwendungsbereich von G endlich ist"³²⁾.

Wir wollen hier gar nicht erst auf die Einzelheiten der nach dieser präzisierten Formulierung des Ausgangsproblems unter den Analytikern geführten Diskussion eingehen, weil sie in eine grundsätzlich falsche und irreführende Richtung gelenkt wird. Nur so viel sei gesagt: die prinzipielle Schwierigkeit, die die Analytiker jetzt entstehen sehen,

1) Vgl. auch S. 155, S. 156

besteht darin, daß der Begriff der Gesetzesartigkeit angeblich auf eine bestimmte Sprache relativiert werden muß, da nur relativ zu einer bestimmten Sprache zwischen Begriffen unterschieden werden kann, die entweder undefinierte Grundbegriffe sind oder aber ohne Gebrauch von Nominatoren aus den Grundbegriffen definiert werden können und die allein in wesentlich generellen Sätzen vorkommen dürfen, und solche Begriffen, bei deren Definition Nominatoren benutzt werden. Bei einer Relativierung der Gesetzesartigkeit auf bestimmte Sprachsysteme wäre dann eine Aussage, formuliert in der einen Sprache, ein Gesetz, reformuliert in einer anderen dagegen kein Gesetz. Dies ist für die Analytiker ein unerwünschtes Resultat, so daß sie nach neuen Lösungen für die Explikation des Begriffs "gesetzesartige Aussage" Ausschau halten³³⁾.

Daß Verlaufsgesetze wesentlich generell sind, hat weder etwas damit zu tun, daß in ihnen Bezug genommen wird auf ein bestimmtes Individuum, was wir oben gezeigt haben, noch daß ihre Anwendungsfälle als endliche Liste angegeben werden können. Verlaufsgesetze sind wesentlich generell in einem ganz anderen Sinne: ein Anwendungsfall einer generellen Wirkungsbehauptung $S (!)h S'$ liegt vor, wenn eine Situation vom Typ S besteht, in dieser Situation auf die Weise h gehandelt wird und eine Situation vom Typ S' mit Abschluß der Handlung h eintritt. Stehen S und S' für konkrete (also nicht schematisch beschriebene) Situationen, dann wird ein Anwendungsfall einer generellen Wirkungsbehauptung beschrieben durch die Konjunktion $S \wedge (!)h \wedge S'$. Ähnliches gilt für ein Gesetz der Form $S \vee S'$ ³⁴⁾.

33) Vgl. STEGMÜLLER 1969, S. 302-319.

34) Den Analytikern bereitet die Definition des Anwendungsfalles eines Gesetzes Schwierigkeiten, da sie Gesetze als generelle Subjunktionen auffassen. Vgl. STEGMÜLLER 1969, S. 306.

Die Begriffe, mit denen die Situationen beschrieben werden, auf die das Gesetz anwendbar ist, sind von ihrer Einführung her prinzipiell offen dafür, weitere, in der Einführung nicht vorweggenommene Gegenstände in entsprechenden Situationen damit präzisierend zu unterscheiden. Diese Offenheit der Prädikatoren für zukünftige, nicht antizipierbare Anwendungen schließt aus, daß die mit dem Prädikator präzisierbaren Gegenstände schon in der Einführung von vornherein aufgelistet werden. Verlaufsgesetze werden nur mit Prädikatoren, die in diesem Sinne offen sind, formuliert. Für die Mechanik sind das, soweit wir sie bis jetzt erörtert haben, die Prädikatoren "Körper" und "bewegen", außerdem die metrischen Prädikatoren "Länge" und "Zeitdauer". Auch bei den weiter unten einzuführenden Termini "Masse", "Kraft" usw. wird diese Offenheitsforderung eingehalten.

Die Frage, ob eine vorgelegte Liste von Gegenständen vollständig ist, d.h. ob die Liste all die Gegenstände und nur die umfaßt, die unter einen bestimmten Prädikator fallen, ist nur durch eine theoretische Argumentation zu beantworten, die erst nachträglich, also nach der Einführung des fraglichen Prädikators überhaupt geführt werden kann und deshalb seine Offenheit von der Einführung her benutzt und gar nicht berührt.

Bei Prädikatoren für Artefakte, besonders aber bei Handlungsprädikatoren ist es sowieso nicht möglich und sinnvoll, sie die durch eine Liste der unter sie fallenden Gegenstände "extensional" zu definieren. Wir verfügen über ein zu einer Handlung gehörendes Bewegungsschema, das wir immer wieder aktualisieren können, und es ist analytisch wahr, daß für die Ausführung von Handlungen keine Verlaufsgesetze aufgestellt werden können. Daher können wir die Liste der Bewegungsvorgänge, denen ein bestimmter Handlungsprädikator zugesprochen werden kann, niemals definitiv beschreiben.

Diese Besonderheit menschlicher Handlungen konstituiert denn auch das wesentlich Generelle an den Wirkungsbehauptungen: S (!)h S' bzw. S V S' werden nämlich in dem Sinne durch Handlungen ja realisiert, daß wir auf die Weise h handeln bzw. eine Situation vom Typ S unmittelbar selber handelnd herbeiführen und dadurch eine Situation vom Typ S' herstellen. Und solche Handlungen führen wir immer wieder aus. Über Handlungsschemata zu verfügen, die wir immer wieder aktualisieren können, ist ein ganz ursprüngliches Vermögen des Menschen³⁵⁾, das wir in Anspruch nehmen, wenn wir unser Leben überhaupt handelnd selber gestalten. Und darauf beruht auch, daß die Wirkungsbehauptungen wesentlich generell sind: wir realisieren immer wieder eine Ausgangsbedingung von einem bestimmten Typ bzw. führen immer wieder eine bestimmte Handlung aus. Wirkungsbehauptungen sind wesentlich generell in dem Sinne, daß in ihnen Situationen (schematisch) beschrieben werden, die wir stets aufs Neue durch Handlungen herstellen (herstellen können)³⁶⁾.

-
- 35) Vgl. KAMLAH/LORENZEN 1973, S. 95ff. Die Verfügbarkeit über stets aktualisierbare Handlungsschemata ist ein grundlegender, anthropologischer Sachverhalt, der in einer Handlungstheorie thematisiert werden muß, von der MITTELSTRASS 1974, S. 81 sagt, daß sie "gegenüber den Begründungsproblemen einer empirisch-physikalischen Theorie denselben methodischen Status hat wie die Prädikationstheorie". Sie thematisiert ein lebensweltliches, vorthoretisches Können, "auf das ein theoretisches Wissen in seinem methodischen Aufbau angewiesen bleibt".
- 36) Diese handlungstheoretisch zu nennende Explikation dessen, daß die Wirkungsbehauptungen wesentlich generell sind, geht auch noch ihrer Charakterisierung als Sätze, in denen Allquantoren vorkommen, voraus. Das Operierenkönnen mit Allquantoren macht selber als Handlungsschemata schon Gebrauch von unserer Fähigkeit, Handlungen wiederholen zu können. Der operative Charakter der technischen Wirkungsbehauptungen konstituiert das spezifisch Generelle, dem gegenüber ist die Verwendung von Quantoren eine Notationsfrage, über die man das wesentliche Generelle an den Wirkungsbehauptungen nicht zureichend erfaßt.

Kapitel 6: DIE PROTOPHYSIK DER DYNAMIK

Die Mechanik wird üblicherweise unterteilt in die Kinetik und die Dynamik. Bisher haben wir uns nur mit der Kinematik befaßt und sie als Formentheorie rekonstruiert, in der Bewegungsformen ideativ konstruiert werden. Wir kommen nun zur Dynamik, worunter der Teil der Mechanik verstanden werden soll, in dem Realisierungsmöglichkeiten für die kinematischen Bewegungsformen untersucht werden. Die Kapitelüberschrift "Die Protophysik der Dynamik" soll darauf hinweisen, daß auch die Grundbegriffe, die ersten Grundsätze und die Anweisungen für die Theoriebildung der Dynamik nicht aus Messungen resultieren, sondern noch methodisch begründet werden müssen. Erst wenn sie methodisch begründet bereitstehen, kann empirische Theoriebildung im Rahmen der Mechanik beginnen.

6.1. Zur Unterscheidung apriorisch-empirisch

Die konstruktive Wissenschaftstheorie der Physik kennt die Unterscheidung zwischen apriorischen und empirischen Teilen der Physik. Physikalisch-empirisch¹⁾ sind die physikalischen Sätze, die auf Messungen beruhen und durch Messungen widerlegt werden können, apriorisch die Sätze, die nicht unter Berufung auf Meßergebnisse revidierbar sind. An dieser Unterscheidung hält die konstruktive Wissenschaftstheorie fest gegen den platten Empirismus, der die geheime oder explizite "Wissenschaftstheorie" sehr vieler Physiker ist und zum Teil "faustdick" in den Physiklehrbüchern propagiert wird, aber auch gegen den subtileren Empirismus der analytischen Wissenschaftstheorie.

1) Vgl. JANICH/KAMBARTEL/MITTELSTRASS 1974, S. 85ff., wo auch die physikalische Empirie von der alltagsweltlichen Erfahrung abgegrenzt wird.

Im Zusammenhang mit dieser Unterscheidung hebt die konstruktive Wissenschaftstheorie der Physik besonders das Prinzip der methodischen Ordnung hervor²⁾. Dies Prinzip lautet: die für die Begründung einer Orientierung O in Anspruch genommenen Orientierungen $O_1, \dots, O_n$ müssen bereits unabhängig von O bereitgestellt worden sein und von O darf bei ihrer Begründung kein Gebrauch gemacht werden. Eine Orientierung O kann unabhängig von einer Orientierung O' bereitgestellt werden, wenn für jede (nicht-sprachliche und sprachliche) Handlung h , die ausgeführt werden muß, um O allererst aufstellen (formulieren) zu können, gilt:

- die Ausführbarkeit von h setzt nicht voraus, daß eine Situation S herbeigeführt worden ist, die nur über ein durch O' orientiertes und ermöglichtes Handeln h' planmäßig herbeigeführt werden kann;
- man weiß auch ohne Akzeptierung von O' , daß die Ausführung von h zu O führt.

Ein wichtiges Beispiel für die Abhängigkeit und Unabhängigkeit von Orientierungen stellen die Prototheorie einer Meßgröße und die unter Verwendung dieser Meßgröße formulierten Verlaufsgesetze dar: das Verlaufsgesetz aufzustellen ist abhängig von den Normen für die Meßinstrumente und die Meßvorschriften der in ihm vorkommenden Meßgrößen, die Prototheorie dieser Meßgrößen ist aber umgekehrt unabhängig von der Akzeptierung des Verlaufsgesetzes.

Was die nicht-sprachlichen Handlungen anbetrifft, auf die eingeschränkt das Prinzip der methodischen Ordnung manchmal auch das Prinzip der pragmatischen Ordnung genannt wird, kann die methodische Ordnung im praktischen Handlungsvollzug realiter überhaupt nicht verletzt werden. Trotzdem ist es deshalb nicht schon überflüssig, ein Prinzip der methodischen und pragmatischen Ordnung explizit als Handlungs-

2) Vgl. JANICH 1973a, in KAMBARTEL/MITTELSTRASS (Hrsg.) 1973, S. 135.

aufforderung zu artikulieren. Denn das Wissen um die handlungsgenetische Reihenfolge in der Hervorbringung begründeter Orientierungen kann sehr wohl beiseitegeschoben und vernachlässigt werden bei der Akzeptierung und Verwerfung von Orientierungen in begründender Absicht (sprachliche Handlungen). Solche handlungsgenetischen Ordnungen unberücksichtigt zu lassen, kann immer dann leicht unterlaufen, wenn sie in einer gelungenen Praxis eingehalten werden.

Da z.B. gegenwärtig hinreichend gute und funktionstüchtige Meßinstrumente gebaut werden und für Messungen jederzeit zur Verfügung stehen, die im Wissenschaftsbetrieb für den Aufbau des empirischen Teils der Physik benutzt werden, das "Faktum" des Baus und des Gebrauchs von Meßgeräten also problemlos zu sein scheint, vergißt die analytische Wissenschaftstheorie, daß die Meßgeräte eben schon bereitgestellt sein müssen, bevor auch nur ein einziges Verlaufsgesetz aufgestellt und experimentell-messend geprüft werden kann. Die Herstellung funktionstüchtiger Meßinstrumente kann nicht nachträglich in der methodologischen Rekonstruktion der mathematisierten Naturwissenschaften von den in der methodischen Ordnung "späteren" Verlaufsgesetzen abhängig gemacht werden. Das aber geschieht in der wissenschaftstheoretischen Analyse der Physik fortlaufend. Man muß sich schon das Prinzip der methodischen Ordnung explizit vor Augen halten, um die z.T. erhebliche methodische Verwirrung in den Argumenten analytischer Wissenschaftstheoretiker identifizieren zu können.

Die Gültigkeit des Prinzips der methodischen Ordnung erstreckt sich selbstverständlich auch auf die Kritik und die Revisionen von Begründungen. Kritik ist die Begründung der Aufforderung, eine Orientierung zu verwerfen. Soll die Kritik für die Praxis von Belang sein, so darf sie das Prinzip der methodischen Ordnung nicht verletzen.

Es ist unsinnig, über eine Orientierung O dazu aufzufordern, eine Orientierung O' fallenzulassen, wenn O von O' abhängig ist. Denn um überhaupt zu O zu kommen und in Argumentationen für andere verständlich und nachvollziehbar sich auf O beziehen zu können, bleibt man gerade an O' in seinem Handeln und Reden orientiert. Die Kritik an O' kann nicht dazu führen, die daran orientierende Praxis zu verbessern³⁾.

Was besagt das Prinzip der methodischen Ordnung für Metrisierungen? Es verlangt, daß, um messen und Verlaufsgesetze aufstellen zu können, die Meßinstrumente und Meßvorschriften schon bereitgestellt sein müssen, so daß die eindeutige Reproduzierbarkeit der Messungen gewährleistet ist.

Für die auf Messungen aufbauende Theorieentwicklung läßt das Prinzip der methodischen Ordnung folgendes nicht zu: kommt in einer Theorie T ein über die Prototheorie MT eingeführter metrischer Begriff m vor und ist G ein logisches Implikat von MT , dann darf man, solange in der Theorie T mit der Meßgröße m gearbeitet wird, aufgrund von Messungen zu m , die durch MT ja normiert werden, keine empirische Hypothese annehmen, die G widerspricht. Aufgrund von Messungen kann MT im Rahmen von T nicht widerlegt werden. MT ist durch Messungen nicht revidierbar, wird unter einer Revision die Preisgabe eines empirisch falsifizierten Satzes verstanden.

Man geht in der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik davon aus, daß die Unterscheidung apriorisch-empirisch zusammen mit dem Prinzip der methodischen Ordnung hinreicht, um ausschließen zu können, daß überhaupt ein metrischer Begriff und die zu ihm gehörende Prototheorie

3) Das wird von Vertretern des "theoretischen Pluralismus" nicht oder zumindest nicht deutlich gemacht; vgl. FEYERABEND 1975, und SPINNER 1974. Die konstruktive Wissenschaftstheorie läßt sich auch von den sich "progressivistisch" gebenden theoretischen Pluralisten nicht davon abbringen, daß belangvolle Kritik ("Theorienkonkurrenz") einer methodischen Ordnung unterliegt.

jemals aufgrund empirischer Theorieentwicklungen methodisch zulässig revidiert werden könnten. Diese These scheint mir zu stark zu sein⁴⁾.

Es muß m.E. die Unterscheidung apriorisch-empirisch im Hinblick auf die Frage, wann wir metrische Begriffe und ihre Prototheorien wieder zur Disposition stellen, ergänzt werden um einen weiteren Gesichtspunkt. Wir kennen ihn schon aus den bisher vorgetragenen systematischen Überlegungen: es ist die Unterscheidung zwischen den ideativen Konstruktionen von Bewegungsformen in der Kinematik und dem generellen technischen Wissen über die Realisierungen der Bewegungsformen, das in der Dynamik gebildet wird. Wir wollen zeigen, daß apriorisch gerade die Kinematik ist, also der Teil der Mechanik, der Bewegungsformen noch unabhängig von allen Realisierungsfragen behandelt, empirisch der mit Realisierungsfragen befaßte Teil der Mechanik.

Begriffsbildungen, die in den Bereich der Dynamik fallen, haben einen anderen Status als Begriffsbildungen innerhalb der Kinematik. Bei den ersteren können empirische Theorieentwicklungen zum Anlaß genommen werden, die Prototheorien zu revidieren. Das wird im folgenden ausgeführt.

Einer technikorientierten Wissenschaft ist das Ziel gesetzt, ein Wissen darüber bereitzustellen, wie Situationen eines bestimmten Typs S' technisch beherrscht werden können. Das Wissen liegt vor in Gestalt von Verlaufsgesetzen der Form $S \rightarrow V \rightarrow S'$, wobei wir Situationen vom Typ S selber unmittelbar handelnd bewirken können. In einem Verlaufsgesetz $S \rightarrow V \rightarrow S'$ sind " S " und " S' " typisierte Situationsdarstellungen.

4) Über diese These herrscht neuerdings unter konstruktiv orientierten Wissenschaftstheoretikern Uneinigkeit, seit LORENZEN den Versuch unternommen hat, die Relativitätstheorie als Revision der klassischen Mechanik (nicht Kinematik) mit dem konstruktiven Verständnis von Physik zu vereinbaren. Diese Diskussion ist noch nicht literarisch dokumentiert.

gen, d.h. in den Verlaufsgesetzen kommen nur schematische Situationsbeschreibungen vor.

Daß Situationen vom Typ S' in gewisser Weise die Ziele der Forschung darstellen, verleiht den in S' vorkommenden Meßgrößen einen besonderen Status. Theorieentwicklungen werden gerade danach beurteilt, ob durch sie die Situationen vom Typ S' immer störungsfreier und besser realisierbar werden. Die Situationen vom Typ S' stehen schon vorher fest und es ist so betrachtet klar, daß die Beschreibungsmittel für Situationen vom Typ S' nicht durch "empirische" Theorieentwicklungen in Frage gestellt werden können.

Die Begriffsbildungen der Kinematik sind also deshalb nicht revidierbar, weil sie in die ideative Konstruktion, Beschreibung und messenden Überprüfung der Verläufe eingehen, die wir über das Wissen der empirischen Mechanik zu realisieren suchen.

Um Situationen vom Typ S' herbeiführen zu können, werden Situationen eines Typs S gesucht, durch die ein Vorgang V ausgelöst wird, der S in eine Situation vom Typ S' transformiert. Welche Ausgangssituation hergestellt werden muß, kann niemand im voraus wissen. Das ist nur durch gezielte und systematische Erfahrung, durch Experimentieren eruierbar. Zwar werden die Situationen vom Typ S von uns unmittelbar handelnd bewirkt, sie unterliegen also der Möglichkeit, sie technisch zu manipulieren, aber es geht hier eben nicht darum, welche Situationen wir herbeiführen wollen, sondern welche wir herbeiführen müssen, um eine andere Situation möglichst störungsfrei eintreten zu lassen. Wir sind deshalb auch bereit, eine Situation vom Typ S in geeigneter Weise abzuändern, wenn anders sich eine Situation von dem gewünschten Typ S' nicht störungsfrei zustandebringen läßt.

Wie die "Zielsituationen" vom Typ S' werden auch die Ausgangssituationen vom Typ S metrisch beschrieben. Da aber

die relevanten Meßgrößen, mit denen Situationen vom Typ S prädiiziert werden, nicht mehr im Kontext zielgeleiteter idealer Konstruktionen, sondern im Kontext von Realisierungsfragen entwickelt werden, haben diese Meßgrößen einen anderen Status als die in S' vorkommenden.

Sei m die zur Beschreibung einer Situation vom Typ S verwendete Meßgröße (nur der Einfachheit halber gehen wir davon aus, daß wir mit einer Meßgröße auskommen), m' die Meßgröße, mit der eine Situation vom Typ S' beschrieben wird. Ein Verlaufsgesetz ist, wie wir gesehen haben, eine Funktionsgleichung der Form $m' = f(m)$. Wegen ihrer besonderen Stellung innerhalb des Aufbaus der Theorie, sind an die Meßgröße m im wesentlichen zwei Anforderungen zu stellen:

- a) Wir müssen in der Lage sein, Werte aus einem vorgegebenen Intervall für die Größe m über die Ausführung bestimmter Handlungen unmittelbar bewirkend realisieren zu können;
- b) Zwischen der Meßgröße m und der aus der "Zielsituation" vorgegebenen Meßgröße m' muß sich ein geeigneter funktionaler Zusammenhang der Art $m' = f(m)$ herstellen lassen und im messenden Experiment auch bewähren.

Beide Forderungen sind wohl von der Aufgabenstellung einer technikorientierten Wissenschaft her unmittelbar einsichtig. Schreitet jetzt die empirische Forschung voran, so kann sich herausstellen, daß die beiden Forderungen besser erfüllt werden können, wenn man die bisher erarbeitete Theorie auf eine der folgenden Weisen abändert:

- die Funktion f wird ersetzt durch eine Funktion f' , so daß $m' = f'(m)$;
- es wird eine zusätzliche Meßgröße m'' eingeführt und die Funktion f durch eine neue Funktion f' ersetzt, so daß $m' = f'(m, m'')$;

- es wird die Meßgröße m durch eine Meßgröße m_1 und die Funktion f durch eine Funktion f' ersetzt, so daß $m' = f'(m_1)$.

Der letzte der drei Fälle ist der für unseren Zusammenhang eigentlich interessante. Vorweg können wir festhalten, daß dieser Fall durch das Prinzip der methodischen Ordnung nicht verboten wird: die zur Meßgröße m gehörende Prototheorie MT ist ja nicht zirkulär widerlegt worden durch Messungen eben der Größe m , sondern es hat sich herausgestellt, daß wir hinsichtlich der in den Punkten a) und b) präzisierten Aufgaben besser fahren, wenn wir m durch die Meßgröße m_1 ersetzen. Dies ist ein zweckgerichteter und rein funktionaler Umbau des empirischen Teils einer Theorie, der nicht durch Widerlegungen erzwungen ist. Etwas zu streichen und Neues an seine Stelle treten zu lassen, ist i.a. immer methodisch möglich.

Gleichwohl beruht diese begriffliche Revision einer Theorie auf einer empirischen Theorieentwicklung, empirisch hier verstanden als: auf messenden Experimenten beruhend. Gehen wir auf das KAMBARTELSche Vokabular des Dreistufenaufbaus zurück, so gehört die die Revision erforderlich machende Theorieentwicklung zur dritten Stufe physikalischer Theoriebildung: Es liegt mit dem bereits aufgestellten Verlaufsgesetz $m' = f(m)$, mit dem die Revision ihren Ausgangspunkt nimmt, eine "physikalische Theorie im engeren Sinne" vor. Es stehen weiter "empirische Daten" zur Verfügung, denn es ist gemessen worden.

Im Zuge der empirischen Theorieentwicklung kommen wir zu dem Ergebnis, daß sich zwischen den Größen m und m' kein technisch verlässlicher funktionaler Zusammenhang "erzwingen" läßt. Und dies kann einen dazu bringen, die Konzeption der Größe m zu verändern.

Fassen wir zusammen: Metrische Begriffe aus dem Teil einer technikorientierten Theorie, die mit Realisierungsproblemen befaßt ist, können aufgrund der Ergebnisse der bisherigen empirischen Theoriebildung aufgegeben werden, ohne daß dabei das Prinzip der methodischen Ordnung verletzt würde. Wenn wir später zeigen können, daß der Massenbegriff schon unter der Fragestellung der Realisierbarkeit der Bewegungsformen einzuführen ist, dann wird mit dieser methodischen Verortung des Massenbegriffs von vornherein zugestanden, daß er u.U. im Fortgang der empirischen Forschung anderen Metrisierungen Platz machen muß.

Es werden nicht erst alle Meßgrößen einer Theorie über die entsprechenden Prototheorien insgesamt eingeführt bevor gemessen und empirische Theorie getrieben wird. Manche Formulierungen des Dreistufenaufbaus legen allzu stark die Auffassung eines linearen Theorieaufbaus nahe. Vielmehr werden erste Meßgrößen eingeführt und bereits empirische Theorieteile aufgebaut, die u.U. zum Anlaß genommen werden, weitere Meßgrößen über entsprechende Prototheorien einzuführen, wobei gegebenenfalls in der Einführung auf Messungen der schon eingeführten Größen Bezug genommen wird. Die Grenze zwischen apriorischen und empirischen Teilen der Physik verläuft nicht entlang der Unterscheidung der Prototheorien für Meßgrößen und dem System der Verlaufsgesetze. Will man bestimmte Prototheorien einer Größe von empirischen Revisionen freihalten, kann man sich nicht einfach nur auf das Prinzip der methodischen Ordnung berufen.

6.2. Dynamisch orientierte Bezugssysteme

Bevor wir den Massenbegriff und den Kraftbegriff einführen werden, wollen wir das Problem angehen, nach welchen methodischen Gesichtspunkten ein geeignetes Bezugssystem für die Dynamik auszuwählen ist. Es ist für die Einführung

des Massen- und des Kraftbegriffs von Vorteil, wenn man sich die allgemeinen Gesichtspunkte für die Wahl eines Bezugssystems vergegenwärtigt. Die Überlegungen sollen vertieft werden durch eine Kritik am Relativitätsprinzip, das in der Physikdiskussion eine große Rolle spielt.

6.2.1. Die Auswahl eines dynamisch orientierten Bezugssystems

Mit den Überlegungen zu kinematischen Bezugssystemen ist das Problem noch nicht gelöst, ein geeignetes Bezugssystem für die Dynamik methodisch schrittweise zu konstruieren. Wir müssen uns, um das einzusehen, wieder die Zielsetzung der Dynamik vor Augen halten: es sollen die ideativ konstruierten kinematischen Bewegungsformen mit realen Körpern realisiert werden. Wie dies zu geschehen hat, soll in der Dynamik beantwortet werden. Dazu muß die dynamische Theorie, also das System der Verlaufsgesetze auf ein Bezugssystem bezogen werden, weil die Realisierungen von Bewegungsformen ein solches Bezugssystem erforderlich machen.

Während nun für die Beschreibung von Bewegungen im Prinzip jeder physikalische Körper als Bezugskörper in Frage kommt, gilt dies nicht mehr ohne weiteres, wenn der Gesichtspunkt der technischen Erzeugung von Bewegungen ins Spiel kommt. Dabei wird zunächst durch die jeweiligen technischen Aufgaben und Gegebenheiten vorgegeben sein, zwischen welchen Körpern K und K' durch relative Bewegungen Bewegungsformen realisiert werden sollen. Im Motorenbau etwa stehen wir vor der Aufgabe, daß die Antriebswelle relativ zu festen Teilen des Motors gleichförmig rotiert; bei einem Kinderkarussell soll sich eine Kreisscheibe relativ zur Erde um den Scheibenmittelpunkt drehen.

Trotzdem brauchen wir, wenn wir die Bewegungen beschreiben, nicht unbedingt einen der beiden Körper K und K' zum Bezugs-

körper zu machen, wir könnten die Bewegung, die wir zwischen K und K' erzeugen wollen, auch auf einen dritten Körper K_0 beziehen. Wann aber wählen wir einen solchen dritten Bezugskörper, wenn von der technischen Aufgabenstellung her bereits einer der beiden Körper sich dafür anbietet?

Einen dritten Körper als Bezugskörper zu nehmen, ist immer dann geschickt, wenn es von der relativen Bewegung der Körper K und K' relativ zu diesem dritten Körper K_0 abhängt, was wir tun müssen, um eine bestimmte Bewegungsform zwischen K und K' möglichst störungsfrei realisieren zu können. Bei verschiedenen Relativbewegungen von K und K' relativ zu K_0 , die sie von sich aus schon haben, also bevor wir ihnen durch technische Handlungseingriffe eine Bewegungsform aufzwingen, müssen wir andere Handlungen ausführen und Ausgangsbedingungen schaffen, um die geplante Bewegung zwischen K und K' auch zu realisieren. Da die Bewegungen von K und K' relativ zu K_0 relevante Ausgangsbedingungen dafür sind, wie Bewegungen technisch beherrscht werden können, die in der Mechanik aufzustellenden Verlaufsgesetze aber gerade Angaben über solche Ausgangsbedingungen enthalten sollen, ist es sinnvoll, den empirischen Teil der Mechanik relativ zu einem solchen, für Realisierungsprobleme relevanten Bezugskörper zu formulieren. Ein im Kontext von Fragen der Realisierbarkeit von Bewegungsformen ausgewähltes Bezugssystem nennen wir dynamisch orientiert.

Im Verlauf der empirischen Forschung können wir darauf stoßen, daß für die Realisierung zwischen K und K' nicht allein ihre Relativbewegung zu K_0 berücksichtigt werden muß, sondern auch, daß sich K_0 relativ zu K'_0 bewegt, eine Bewegung, die von K und K' , selbst wenn sie bezüglich K_0 ruhen, noch mitgemacht wird. Der aus der Geschichte der empirischen physikalischen Forschung bedeutsame Fall ist die Aufdeckung der beschleunigten Erdbewegung relativ zur

Sonne, die die Möglichkeit, Bewegungsverläufe auf der Erde zu realisieren, mit beeinflusst. In diesem Fall reformuliert und verändert man die Theorie, indem man sie nun auf K_0 bezieht, und die relevante Relativbewegung von Körpern K und K' in Bezug auf K_0 mit in die Beschreibung der relevanten Ausgangsbedingungen aufnimmt, die in den aufzustellenden Verlaufsgesetzen vorkommen. Allerdings tritt K_0 dann nicht mehr als konkretes Körperindividuum in den Verlaufsgesetzen auf, sondern wird wie K und K' nur noch schematisch erwähnt.

Der Bezugskörper K_0 , relativ zu dem Verlaufsgesetze aufgestellt werden, ist ein konkreter Körper (z.B. die Erde oder die Sonne). In der Physik wird dagegen im allgemeinen ein geeignetes dynamisch orientiertes Bezugssystem nominatorenfrei definiert ("Inertialsystem"), und von physikalischen Körpern wird geprüft, ob sie die definierenden Bedingungen gut oder jedenfalls hinreichend gut erfüllen. M.E. gibt es aber keine zwingenden Gründe dafür, die empirische Mechanik unbedingt von der Bezugnahme auf ein konkretes Bezugssystem freizumachen.

Die "Anwendungen" der Theorie müssen sowieso auf ein bestimmtes Bezugssystem bezogen werden. Außerdem gilt: wir wollen ja zunächst und auch für die spätere Theorieentwicklung noch immer bestimmend Bewegungsformen zwischen Körpern auf der Erde relativ zu ihr technisch beherrschen, wozu in der Mechanik das Wissen bereitgestellt werden soll. Die technikorientiert betriebene Mechanik muß deshalb relativ zu einem Bezugssystem aufgebaut werden, das dynamisch relevant für die technische Beherrschung von Bewegungsvorgängen auf und relativ zur Erde ist. Deshalb braucht nicht die Erde als Bezugskörper genommen zu werden. Aber man kann für die "irdische" Mechanik (JANICH) sehr wohl mit der Erde als allgemeinem Bezugssystem beginnen, das dann u.U. später durch ein geeigneteres ersetzt wird.

Die Erde und jedes andere Bezugssystem wird man immer dann durch ein neues ersetzen, wenn die Realisierung von Bewegungsvorgängen auf Schwierigkeiten stößt, die dadurch theoretisch erfaßt und daran anschließend technisch beseitigt werden können, daß Relativbewegungen des bisherigen Bezugskörpers zu dem vorgeschlagenen neuen mitberücksichtigt werden.

6.2.2. Zur Kritik des Relativitätsprinzips

In der Diskussion um das Verhältnis der Theorie der Mechanik zu einem geeigneten Bezugssystem spielt das Relativitätsprinzip eine große Rolle. Hier wollen wir uns die Frage vorlegen, ob das Relativitätsprinzip theoriekonstitutiv für die Mechanik ist und wie es begründet werden kann.

Denken wir uns zwei gleichförmig zueinander bewegte Bezugssysteme S und S' . Nehmen wir weiter an, daß Physiker von S und S' aus dieselben (!) Bewegungen von Körpern beobachten und jeweils auf ihr System bezogen durch Bahnfunktionen $r(t)$ und $r'(t)$ beschreiben. Die Physiker stellen zudem jeweils relativ zu ihrem System Verlaufsgesetze auf, um die von ihnen beobachteten Bewegungen erklären und weitere voraussagen zu können. Es kann begründeterweise erwartet werden, daß die aufgrund der beiden Theorien T und T' jeweils vorhergesagten Bahnfunktionen $r(t)$ und $r'(t)$ die GALLILEIschen-Transformationsgleichungen⁵⁾ erfüllen werden, denn es werden dieselben Bewegungen vorhergesagt, nur jeweils von S oder S' aus "beobachtet" und relativ zu dem jeweiligen Bezugskörper beschrieben.

Eine so verstandene "GALLILEI-Invarianz" der Verlaufsgesetze ist begründet. Sie folgt aus dem Umstand, daß die ohne das Zutun der jeweils in S bzw. S' weilenden Physiker in "der Natur ablaufenden Bewegungen" nicht dadurch in ihrem

5) Vgl. Kapitel 2, 2.5.

Ablauf beeinflußt werden, daß sie von einem bestimmten Standort aus beobachtet und beschrieben werden. Diese Begründung bleibt aber von den zwei Voraussetzungen abhängig, daß die Physik als Naturwissenschaft betrieben wird, die Bewegungen in erklärender und prognostischer Absicht studiert, die sich unbeeinflußt durch menschliche Handlungen "einfach so" zutragen, und daß jeweils dieselben Bewegungen von den zwei Systemen S und S' aus analysiert werden⁶⁾.

-
- 6) In vielen Herleitungen des Relativitätsprinzips wird zunächst davon ausgegangen, daß dieselbe Bewegung von verschiedenen Systemen aus gemessen wird. Anschließend wird das Relativitätsprinzip auf den dazu gemachten Überlegungen aufbauend begründet: der Bruch in der Argumentation, daß nämlich zunächst von der Beschreibung derselben Bewegung in verschiedenen Bezugssystemen ausgegangen wird, das Relativitätsprinzip aber sogar etwas über die dynamische Ununterscheidbarkeit gleicher Bewegungsvorgänge, die jeweils in S bzw. S' sich abspielen, behauptet, wird verdeckt. Ein Beispiel: "Wir haben gesehen, daß verschiedene Beobachter, die sich relativ zueinander bewegen, einem Teilchen verschiedene Geschwindigkeiten zuordnen. Es folgt weiterhin, daß bei Änderungen der Teilchengeschwindigkeit beide Beobachter dieselbe Änderung messen. Sie messen demzufolge dieselbe Beschleunigung für das Teilchen. Die Beschleunigungen eines Teilchens ist in allen Bezugssystemen gleich, die sich mit konstanter Geschwindigkeit zueinander bewegen, ... Definiert man die Kraft durch $F = m a$, dann messen offensichtlich verschiedene Beobachter für dieselbe (Hervorh. v.H.T.) Kraft denselben Wert. Newtons Bewegungsgesetze und Bewegungsgleichungen eines Teilchens (Hervorh. H.T.) sind nach Auffassung der klassischen Physik in allen Inertialsystemen vollkommen gleich."; RESNICK 1975, S. 15, (der zuletzt zitierte Satz ist im Original ganz hervorgehoben). Bisher war immer von der Bewegung eines Teilchens und derselben Kraft die Rede, aber im nächsten Satz wird auf einmal aus den bisherigen Überlegungen gefolgert, "daß die Gesetze der Mechanik in allen Inertialsystemen gleich sind". Das ist aber eine stärkere Behauptung als die bis dahin begründete These, daß die Bewegungsgesetze eines Teilchens in allen Inertialsystemen gleich lauten. FEYNMAN dagegen macht z.B. von Anfang an klar, was das Relativitätsprinzip besagt: "Das bedeutet z.B., daß in einem mit konstanter Geschwindigkeit dahintreibenden Raumschiff alle Experimente und Phänomene ... erscheinen, als wenn sich das Schiff nicht ... Dabei ist natürlich angenommen, daß man nicht nach draußen schaut (Hervorh. H.T.); FEYNMAN 1974, 15-1.

Dagegen behauptet das (spezielle) Relativitätsprinzip wesentlich mehr: "Relativ zu geradlinig gleichförmig bewegten Bezugssystemen gelten alle Naturgesetze in unveränderter Form"⁷⁾, oder sogar (allgemeines Relativitätsprinzip): "Alle Bezugskörper K, K' usw. sind für die Naturbeschreibung (Formulierung der allgemeinen Naturgesetze) gleichwertig, welches auch deren Bewegungszustand sein mag."⁸⁾.

Daß in geradlinig, gleichförmig gegeneinander bewegten Bezugssystemen S und S' "dieselben Naturgesetze" gelten, bezieht sich nun nicht mehr auf Gesetze für dieselben Bewegungen, nur jeweils von S bzw. S' aus beobachtet, vielmehr wird behauptet: werden in Bezug auf S und S' jeweils die gleichen (nicht dieselben) Anfangsbedingungen hergestellt, so laufen in S und in S' jeweils gleiche (nicht dieselben) Bewegungen ab.

In S soll von den dort weilenden Physikern ein Wissen darüber gebildet werden, wie relativ zu S bestimmte, kinematisch beschriebene Bewegungsformen hinreichend genau realisiert werden können. Die von den S -Physikern relativ zu S aufgestellten Bewegungsgesetze sollen darüber Aufschluß geben, welche Ausgangskonstellationen unmittelbar durch technische Handlungen bewirkt werden müssen, um eine geplante Bewegungsform technisch störungsfrei zu realisieren.

Genau das machen auch die Physiker in S' und in Bezug auf S' , wobei sie sich selbst, ihre Meßgeräte, Apparaturen, Maschinen relativ zu S bewegen. Nach dem Relativitäts-

7) FLEISCHMANN 1972, S. 7

8) EINSTEIN 1972, S. 38. Die Formulierung des allgemeinen Relativitätsprinzips ist allerdings wieder etwas ungenau: daß alle Bezugskörper für die Naturbeschreibung gleichwertig sind, könnte den Schluß nahelegen, hier würde nur etwas über kinematische Bezugssysteme ausgesagt, während es tatsächlich wieder um dynamisch orientierte Bezugssysteme geht.

prinzip müssen nun in S' die gleichen Anfangsbedingungen herbeigeführt werden, die auch in S hergestellt werden müssen, um eine bestimmte Bewegungsform zu verwirklichen.

Als empirische Hypothese aufgefaßt muß das Relativitätsprinzip als eine Behauptung darüber reformuliert werden, daß (bestimmte) Relativbewegungen nicht dynamisch relevant sind, d.h. daß sie bei der technischen Erzeugung von Bewegungsformen nicht berücksichtigt werden müssen. Von beschleunigten Bewegungen wissen wir aus der Mechanik, daß sie dynamisch relevant sind. Es gilt also allenfalls ein auf geradlinige, gleichförmige Bewegungen eingeschränktes Relativitätsprinzip.

Wäre nun das Relativitätsprinzip eine empirische Annahme, wenn auch vielleicht "sehr tief liegend" (EINSTEIN), so müßte es letzten Endes doch auf eine Stufe gestellt werden mit den anderen Verlaufsgesetzen. Dann ist aber nicht mehr einsichtig, wieso es bei Revisionen des empirischen Teils der Mechanik in der Weise vor den anderen Verlaufsgesetzen ausgezeichnet wird, wie dies de facto in der Physik geschieht. Hält man sich also vor Augen, wie sich die Physiker auf das Relativitätsprinzip berufen, so scheint seine Rekonstruktion als methodische Anweisung eher angemessen: stelle nur solche Verlaufsgesetze auf für Bewegungen, die invariant sind gegenüber Koordinatentransformationen zwischen (geradlinig, gleichförmig oder gar beliebig) sich zueinander bewegenden Bezugssystemen⁹⁾.

9) Die besondere Auszeichnung des Relativitätsprinzips bei empirisch begründeten Revisionen der Mechanik ist besonders deutlich bei der Speziellen Relativitätstheorie; eine Argumentation für den Übergang von der klassischen zur relativistischen Mechanik sieht nämlich so aus: es gilt ein Relativitätsprinzip, das die klassische Mechanik in Gestalt der GALILEI-Invarianz erfüllt; die GALILEI-Invarianz gilt für die klassische Elektrodynamik nicht mehr und wird experimentell durch die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in Frage gestellt. Die Spezielle Relativitätstheorie ist dann eine Lösung der folgenden Problemsituation: gesucht ist eine Transformationsinvarianz, die das Relativitätsprinzip für gleichförmig zueinander bewegte Bezugssysteme nicht aufhebt, zugleich gemeinsam von Mechanik und Elektrodynamik erfüllt wird und mit der Kon-

Eine solche methodische Anweisung für die Theoriebildung ist jedoch ernstlich kaum begründbar. Wir wollen mit Hilfe der technikorientierten Mechanik Bewegungsformen auf der Erde und relativ zu ihr realisieren. Die Theoriebildung muß daher ganz darauf gerichtet sein, alle die Bedingungen ausfindig zu machen, die für eine störungsfreie Realisierung der Bewegungsformen zwischen Körpern, die wir letztlich aus technischen Erwägungen dafür auswählen, beachtet werden müssen. Es können nicht von vornherein bestimmte Relativbewegungen unberücksichtigt gelassen werden, wie das der Fall wäre, wollte man nur Verlaufsgesetze aufstellen, die die im Relativitätsprinzip geforderte Invarianz aufweisen. Die experimentelle Forschung muß lehren, welche Relativbewegungen zweier Körper K und K' jeweils relativ zu einem dritten einen Einfluß darauf haben, ob und wie sich Bewegungsformen zwischen K und K' technisch erzwingen lassen. Diese Forschung darf nicht durch ein methodisches Prinzip restriktiv präjudiziert werden.

6.3. Die Form der Verlaufsgesetze in der Mechanik

In diesem Abschnitt werden wir die für die Mechanik zentralen Begriffe der Masse und der Kraft einführen und die Form der Kraftgesetze, das sind die Verlaufsgesetze der Mechanik, schrittweise herleiten. Dabei wird die Rekonstruktion des Massenbegriffs aufwendiger sein als die Einführung des Kraftbegriffs, obwohl das Diktum des Physikers POHL, daß "die Kraft (...) unzweifelhaft der unerquicklichste Begriff der Mechanik" ist¹⁰⁾, eher besondere Schwierigkeiten für den Kraftbegriff erwarten läßt. Beim Massenbegriff soll der Frage besondere Beachtung geschenkt werden,

stanz der Lichtgeschwindigkeit verträglich ist. Die Lösung ist die LORENTZ-Invarianz.

10) POHL 1975, S. 34

inwiefern der Massenbegriff in die Dynamik, also den mit Realisierungsfragen befaßten Teil der Mechanik gehört.

6.3.1. Die Bedeutung der Begriffe "Geschwindigkeit" und "Beschleunigung" für die Dynamik

Die Diskussion um die Definition wichtiger Größen der Mechanik wie "Masse" und "Kraft" wäre sicher weniger verfahren, würde man sich um sorgfältige Antworten auf die Frage bemühen, mit welcher "Unterscheidungsintention" wir eigentlich bestimmte metrische Größen einführen. Eine Antwort sieht dabei so aus, daß wir einerseits auf lebensweltliche Erfahrungen verweisen, die wir noch ohne Rückgriff auf den in Frage stehenden metrischen Begriff artikulieren können, andererseits auf die ebenfalls ohne Verwendung des betreffenden metrischen Begriffs darstellbaren Zwecke der aufzubauenden physikalischen Theorie zurückgehen. Wir gewinnen so allererst Adäquatheitskriterien, nach denen wir die Metrisierungsvorschläge beurteilen können.

Da die Begriffe "Geschwindigkeit" und "Beschleunigung" so gut wie keine Definitionsprobleme aufwerfen, übergeht man insbesondere in ihrem Falle das Problem, mit welcher Absicht wie die beiden Unterscheidungen treffen und welche Bedeutung ihnen systematisch im Aufbau der Mechanik zukommt. In den Physiklehrbüchern wird meistens im Abschnitt über Kinematik die in der Tat problemlose Definition der beiden Begriffe vorgetragen. Sie noch als kinematische Begriffe zu behandeln, ist durchaus verständlich, da beide allein mit den beiden Grundgrößen der Kinematik "Länge" und "Zeit" definiert werden. Zudem gehen sie in die kinematische Konstruktion von Bewegungsformen ein; man denke an Drehbewegungen und der geradlinigen, gleichförmig beschleunigten Bewegung.

Nicht erörtert wird dagegen in den Physikbüchern die zentrale Bedeutung des Beschleunigungsbegriffs für die technikorientierte Fragestellung der Dynamik, wie Bewegungen und Bewegungsformen technisch erzeugt werden können. Ein Teil der Schwierigkeiten, mit denen man sich eingestanden oder auch uneingestanden herumschlagen muß, gehen zu Lasten des Verzichts, die Relevanz des Begriffs "Beschleunigung" für die Dynamik überhaupt zur Sprache zu bringen.

Für den Aufbau der technikorientierten Dynamik ist der Begriff der Beschleunigung konstitutiv. Wir wollen vollständig bestimmte Bewegungen störungsfrei über technische Handlungen hervorbringen. Dazu bedienen wir uns konkreter physikalischer Körper, die wir in letzter Instanz einfach vorfinden. Diese konkreten physikalischen Körper befinden sich stets in einem "natürlichen" Zustand der Ruhe oder Bewegung relativ zu einem für die Erzeugung der geplanten Bewegung relevanten Bezugskörper, ob wir nun schon an den Körpern technisch gehandelt haben oder nicht. Damit wir eine von uns vorgesehene Bewegungsform auch tatsächlich mit solchen Körpern in konkrete Bewegungen umsetzen können, müssen wir diesen, ihren "natürlichen" Bewegungszustand in geeigneter Weise verändern: wir müssen auf der einen Seite die Richtung ihrer "natürlichen" Bewegung abändern oder auf der anderen Seite ihre Geschwindigkeit (dem Betrage nach).

Außerdem sind viele Bewegungsformen so definiert, daß in ihrem Verlauf die Bewegungsrichtung (der Körper soll eine feste Bahn einhalten und die ist nicht immer eine Strecke) oder die Schnelligkeit des sich bewegenden Körpers so verändert werden muß, daß er auf einer ihm vorgeschriebenen Bahn jede Stelle zu einem vorgesehenen Zeitpunkt passiert.

Fassen wir die Änderung der Richtung und des Betrages der Geschwindigkeit auf die bekannte Weise vektoriell in einer

Größe zusammen und nennen den Vektor $\vec{a}$ Beschleunigung, wie das in der Physik üblich ist, dann können wir sagen: um Bewegungsformen mit konkreten physikalischen Körpern realisieren zu können, müssen wir über ein technisches Wissen verfügen, wie Körper in geeigneter Weise beschleunigt werden können. Beherrschen wir technisch Beschleunigungen, dann sind wir in der Lage, Bewegungsformen an konkreten physikalischen Körpern zu realisieren, was auch immer ihr natürlicher Bewegungszustand gerade sein mag.

Beschleunigungen technisch zu beherrschen, bedeutet zu wissen, welche durch die Größen $m_1, \dots, m_n$ beschriebene Situation eines Typs S herbeigeführt werden muß, damit Bewegungsänderungen einen vorausberechenbaren Verlauf nehmen. In den technikorientierten Verlaufsgesetzen der Dynamik tritt daher auf der linken Seite der Funktionsgleichung die zeitabhängige Beschleunigung auf, d.h. sie haben die Form:

$$\vec{a}(t_0 + \delta) = f(m_1, \dots, m_n, \delta) \quad \text{oder}$$

$$\ddot{r}(t_0 + \delta) = f(m_1, \dots, m_n, \delta),$$

da die Bahnfunktionen der Bewegungsformen zweimal stetig differenzierbar sind und die zweite Ableitung nach der Zeit gerade den zeitlichen Verlauf der Bewegungsänderung wiedergibt.

Damit sind wir schon sehr nahe an die bekannte Form der mechanischen Kraftgesetze herangekommen. Es fehlt nur noch eine Begründung dafür, warum auf der linken Seite zusätzlich die mit der Beschleunigung multiplikativ verknüpfte Größe "Masse" vorkommt und eine Angabe über die Größen $m_1, \dots, m_n$. Doch ist m.E. der entscheidende Schritt getan, wenn begründet werden kann, warum mechanische Verlaufsgesetze Gesetze über den zeitlichen Verlauf von Beschleunigungen sind.

Ich meine, daß sich an diese Stelle in besonderer Weise die Vorzüge des hier vertretenen Ansatzes bewähren, die Mechanik vom technischen Ziel der Bewegungserzeugung her zu rekonstruieren. Ginge es nämlich in der Mechanik allein darum, für natürliche Bewegungen, d.h. Bewegungen, die wir nicht planen und beeinflussen, aufgrund der Theorie ihren Verlauf durch Angabe der zeitabhängigen Orte zu prognostizieren, dann könnte uns bereits ein System von Verlaufsgesetzen zufriedenstellen, das die Bahnfunktionen der natürlichen Bewegungen mit bestimmten, beobachtbaren Anfangssituationen funktional verknüpft. Die Verlaufsgesetze hätten dann die Form:

$$r(t_0 + \delta) = f(m_1, \dots, m_n, \delta).$$

Die erste oder zweite Ableitung nach der Zeit von $r(t)$ müßten nicht vorkommen. Nur da wir Bewegungen allererst erzeugen wollen und dazu schon bestehende Bewegungszustände reproduzierbar zu verändern haben, stellen wir Gesetze über den zeitlichen Verlauf von Bewegungsänderungen, von Beschleunigungen auf.

Die Physiklehrbücher bleiben in aller Regel eine Antwort auf die Frage schuldig, warum die mechanischen Kraftgesetze gerade diese Form und keine andere haben. Man weigert sich, hierin noch einen mit methodischen Gründen aufklärbaren Sachverhalt zu sehen, und beendet die Diskussion, bevor sie auch nur richtig in Gang gekommen ist mit pauschalen Hinweisen auf eine nicht weiter qualifizierte "Erfahrung", die alles lehrt. Beispielhaft sei hier kurz auf das Lehrbuch der theoretischen Physik von LANDAU/LIFSCHITZ eingegangen.

Zu Beginn stellen die Autoren fest, daß die Kenntnis der Koordinaten eines mechanischen Systems für einen festen Zeitpunkt nicht gestatten würde, die Koordinaten, also die Bahnfunktionen der zum System gehörenden Körper oder Massenpunkte für einen späteren Zeitpunkt vorherzusagen. "Die

gleichzeitige Angabe aller Koordinaten und Geschwindigkeiten bestimmt jedoch, wie die Erfahrung zeigt (Hervorh. v. H.T.), den Zustand des Systems vollständig und erlaubt im Prinzip, die zukünftige Bewegung vorherzusagen."¹¹⁾

Wer das unvoreingenommen liest, kann daraus eigentlich nur entnehmen, daß die experimentelle Erfahrung uns auf Verlaufsgesetze der folgenden, etwas vereinfachten Form führt:

$$r(t_0 + \delta) = f(r(t_0), \dot{r}(t_0), \delta).$$

Lassen sich die Bahnfunktionen so ermitteln, ergeben sich die Beschleunigungen durch zweimaliges Differenzieren nach der Zeit.

So fahren denn die Autoren auch mit der Behauptung fort: "Das bedeutet vom mathematischen Standpunkt aus, daß durch die Angaben aller Koordinaten q und Geschwindigkeiten $\dot{q}$ zu irgendeinem Zeitpunkt auch die Größe der Beschleunigungen $\ddot{q}$ zu diesem Zeitpunkt eindeutig gegeben ist"¹²⁾.

Wir sehen davon ab, daß genau genommen die Kenntnis der Beschleunigungen der Körper zu dem Zeitpunkt, für den auch die Orte und Geschwindigkeiten bekannt sind, keine Vorhersagen des zukünftigen Zustandes des mechanischen Systems erlaubt: wir müssen von dem gegebenen Anfangszustand, der durch Orte und Geschwindigkeiten beschrieben ist, den zukünftigen Verlauf der Bewegungsänderungen (der Richtung und dem Betrage der Geschwindigkeit nach) ermitteln können.

Fragwürdiger noch ist etwas anderes an der Argumentation: denn wenn man, was angeblich "die Erfahrung zeigt", die Bahnfunktionen aus den Orten und Geschwindigkeiten für einen festen Zeitpunkt ermitteln kann, warum macht man dann in der Aufstellung der Verlaufsgesetze den Umweg, auf

11) LANDAU/LIFSCHITZ 1973, S. 2

12) a.a.O., S. 2

die linke Seite der Funktionsgleichung die Beschleunigungen auftreten zu lassen, wo man doch die Bahnfunktionen bestimmen will und, hat man diese, vom "mathematischen Standpunkt aus" dann ebenfalls die Beschleunigungen kennt?

Die Autoren dürfen sich nicht auf die Mathematik berufen, sondern müssen die erste der beiden zitierten Behauptungen revidieren: die "Erfahrung zeigt" uns, daß wir zunächst bei Kenntnis der Orte und Geschwindigkeiten zu einem festen Zeitpunkt nur die Beschleunigungen kennen. "Vom mathematischen Standpunkt aus" erhält man bei entsprechender Lösbarkeit der Differentialgleichungen die Bahnfunktionen durch Integration der Gleichungen.

Diese mehr als windige Argumentation mit dem, was "die Erfahrung zeigt", und dem, was wir "vom mathematischen Standpunkt daraus" folgern dürfen, wird hinfällig, wenn wir mit der von uns vorgetragenen Argumentation begreiflich machen, warum wir an der Kenntnis der Beschleunigungen interessiert sind. Wegen unseres Ziels, Bewegungen handelnd hervorzurufen, stehen auf der linken Seite der technikorientierten Verlaufsgesetze Beschleunigungen und nicht, weil der "erfahrungsmäßige Zugang zur Natur" nur "Gesetzmäßigkeiten über Beschleunigungen entdecken" kann.

Das letztere behauptet z.B. allen Ernstes LUDWIG in seinem Lehrbuch der theoretischen Physik. Nach LUDWIG soll das NEWTONsche Trägheitsgesetz ausdrücken, "daß die Beschleunigung ein von der Umgebung abhängiges Verhalten zeigt, für das es leichter ist, Gesetze aufzustellen, als für die Bahnen selbst"¹³⁾. Hier gibt "die Natur" eher das "Geheimnis der Beschleunigungen" als "das Geheimnis der Bahnen" preis. Das ist wieder ein Beispiel für Theorienrealismus, der der Natur zuschreibt, was methodisch als Absicht in die Theoriebildung eingeht.

13) LUDWIG 1974, S. 123 (Hervorhebung im Original)

6.3.2. Die klassische Mechanik als Bewegungstheorie von Punktkörpern

Vor einer kritischen Rekonstruktion des Massenbegriffs müssen wir methodisch in Ansatz bringen, daß die klassische Mechanik eine Theorie der Bewegungen von Massen-punkten oder Systemen von Massenpunkten ist. Wir werden dabei nicht umhin können, in mancher Hinsicht vorgreifend zu argumentieren. Es werden aber diese Vorgriffe im späteren systematischen Argumentationsgang zirkelfrei wieder eingeholt.

Wir wollen Bewegungen erzeugen und Bewegungsformen realisieren mit materiellen physikalischen Körpern. Dazu müssen wir, was der letzte Abschnitt aufgezeigt hat, diese Körper beschleunigen. Körper werden durch Bewegungsanstöße beschleunigt. Erste einfache und alltagsweltlich schon zur Verfügung stehende Bewegungsanstöße sind z.B.: ich hebe einen Körper hoch und lasse ihn fallen; ich werfe einen Körper; ich trage einen Körper; ich schiebe einen Körper vor mir her; ich ziehe ihn auf einem Wagen; ich ziehe ihn mit einem Flaschenzug hoch; ich werfe ihn ins Wasser und lasse ihn mit der Strömung treiben usw.. Ein Bewegungsanstoß liegt aber auch vor, wenn ich z.B. eine Kugel gegen eine andere, ruhende stoße und dadurch die letztere in Bewegung versetze.

Bewegungsanstöße lassen sich in der Regel wiederholen, d.h. sowohl mit verschiedenen Körpern ausführen als auch mit demselben Körper wiederholen. Jedoch fallen Wiederholungen eines Bewegungsanstosses oft unterschiedlich aus, so daß, selbst wenn man denselben Körper dabei benutzt (ihn z.B. zweimal hintereinander wirft), verschiedene Beschleunigungen resultieren.

Um Beschleunigungen mit der Genauigkeit technisch zu beherrschen, wie dies von der Zielsetzung der technikorientierten Mechanik her erforderlich ist, müssen wir über Be-

wegungsanstöße so technisch verfügen, daß bei Wiederholungen des beschleunigenden Anstosses derselbe Körper jeweils gleich beschleunigt wird. Die mit dem Aufbau der Dynamik als technikorientierter Theorie Hand in Hand gehende Entwicklung experimenteller Techniken zielt daher gerade darauf ab, Bewegungsanstöße selber in Gang setzen und über das Konstanthalten gewisser Ausgangsbedingungen soweit kontrollieren zu können, daß einundderselbe Körper jeweils gleich beschleunigt wird. Ein solchermaßen technisch verfügbar gemachter Bewegungsanstoß heiße Beschleunigungsverfahren.

Im allgemeinen kann ein Beschleunigungsverfahren reproduzierbar abgewandelt werden, indem die Ausgangsbedingungen entsprechend kontrolliert variiert werden, so daß ein Körper verschieden (reproduzierbar) beschleunigt werden kann. Hält man die Ausgangsbedingungen jedoch konstant und wendet das Beschleunigungsverfahren auf verschiedene Körper an, so werden diese in aller Regel auch verschieden beschleunigt. Das ist eine elementare lebensweltliche Erfahrung.

Es ist daher sinnvoll, zu unterscheiden zwischen der jeweiligen Ausführung des Beschleunigungsverfahrens und den Körpern, die beschleunigt werden. Der Wurf etwa ist ein spezielles Beschleunigungsverfahren, Bälle, Pfeifenstopfer, Tomaten sind Körper, die geworfen werden können. Wird auf einen Körper ein Beschleunigungsverfahren angewendet, so muß man sich die resultierende Beschleunigung aus zwei Komponenten bestimmt denken: der durch die Ausgangsbedingungen charakterisierten, jeweiligen Ausführung des Beschleunigungsverfahrens und den Eigenschaften des zu beschleunigenden Körpers.

Welche Eigenschaften, in denen Körper sich voneinander unterscheiden, sind relevant für die unterschiedlichen Beschleunigungen, die bei Anwendung eines Beschleunigungsverfahrens mit konstant gehaltenen Anfangsbedingungen auf die

Körper jeweils festzustellen sind? Physikalische Körper unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht: in ihrer Farbe, ihrem Geruch, in ihrer Gestalt, in ihrem Volumen, in dem Material, aus dem sie bestehen, in der Rauheit ihrer Oberfläche, in ihrer Schwere usw.. Einige dieser Eigenschaften, wie z.B. Geruch und Farbe haben für uns keinen nachweisbaren Einfluß darauf, wie sie sich bewegen lassen. Gestalt und Material aber beeinflussen nachweisbar ihr Bewegungsverhalten, jedenfalls relativ zu bestimmten Bewegungsanstößen. Diese Eigenschaften sind also immer mitzudenken und zu berücksichtigen, sollen die Körper bewegt werden.

Ziel der technikorientierten Mechanik ist die Entwicklung und Beschreibung von Beschleunigungsverfahren, die universell anwendbar sind, d.h. die auf beliebige physikalische Körper angewendet werden können und diesen dann eine vorausbestimmbare Beschleunigung erteilen. Und das Problem, das wir jetzt erörtern wollen, ist die Frage, wie innerhalb der Mechanik die oben erwähnten, für die Beschleunigung relevanten Eigenschaften physikalischer Körper methodisch in der Theoriebildung behandelt werden.

In der Mechanik werden, wie wir im Abschnitt über die Beschleunigung gesehen haben, Verlaufsgesetze über Beschleunigungen aufgestellt. Sie haben vorläufig, d.h. soweit wir sie bisher methodisch rekonstruiert haben, die Form:

$$\ddot{r}(t_0 + \delta) = f(m_1, \dots, m_n, \delta) .$$

Da die oben erwähnten Eigenschaften der Körper die aus der Anwendung eines Beschleunigungsverfahrens resultierende Gesamtbeschleunigung mit bestimmen, müßten sie eigentlich durch Meßgrößen in dem Term erfaßt sein, wenn das fragliche Verlaufsgesetz für alle festen Körper gelten soll. Genau dieser Weg aber wird in der klassischen Partikelmechanik nicht eingeschlagen.

Volumen, das Material und die mit ihm zusammenhängenden Eigenschaften wie z.B. die Rauheit der Oberfläche oder die Elastizität der Körper, auf die das Beschleunigungsverfahren angewendet und deren Beschleunigungen berechnet werden sollen, sind in dem Term nicht durch Meßgrößen vertreten. Die Verlaufsgesetze der Mechanik scheinen also für beliebige Körper unabhängig von ihrer Gestalt, ihrem Volumen, ihrem Material zu gelten. Wie bekommt man trotzdem eine Theorie über Beschleunigungen, die auf reale physikalische Körper anwendbar ist, die doch stets eine bestimmte Gestalt, ein bestimmtes Volumen haben und aus einem bestimmten Material bestehen, was alles für ihre Beschleunigungsfähigkeit von Bedeutung ist, wie wir alltagsweltlich wissen?

Die Verlaufsgesetze der Mechanik gelten für die Beschleunigungen von Punktkörpern. Die Rede von der Bewegung eines Punktkörpers meint nur, daß an einem realen, ausgedehnten Körper eine Stelle markiert und die Bewegung des Körpers beschrieben wird als die Bewegung dieser Stelle¹⁴⁾. Wird die Bewegung dieser Stelle dadurch beschrieben, daß die zeitabhängigen Koordinaten des Ortsvektors relativ zu einem Koordinatensystem angegeben werden, wird die Bewegung eines Punktkörpers eben gerade durch eine Bahnfunktion $r(t)$ dargestellt¹⁵⁾.

14) Die Bewegung eines Punktkörpers gewinnt man nicht, was oft in den Physikbüchern zu lesen ist, dadurch, daß man sich das Volumen eines sich bewegenden Körpers immer kleiner werdend denkt und dann eine Grenzbetrachtung vollzieht.

15) Wollte man die Ausdehnung und die Gestalt- und Volumenänderungen eines sich bewegenden Körpers in der Beschreibung der Bewegung mit erfassen, müßte es zu jedem t eine von einem Parameter abhängige Funktion geben, die für den Wertebereich dieses Parameters die Koordinaten der Stellen des Raumstücks liefert, das von dem Körper zum Zeitpunkt t gerade eingenommen wird. Daß Bewegungen in der Partikelmechanik als Bewegungen von Punktkörpern behandelt werden, kommt also auch darin zum Ausdruck, daß sie kinematisch durch Bahnfunktionen $r(t)$, also als Bewegungen von Punkten beschrieben werden. Entsprechend enthalten die Verlaufsgesetze die zweite Ableitung nach der Zeit solcher Bahnfunktionen, also die Beschleunigung von Punktkörpern.

In der Mechanik läßt man nun nicht völlig außer Betracht, daß man nicht "geometrische Punkte" beschleunigen will, sondern physikalische Körper¹⁶⁾. Dazu berücksichtigt man von den realen Körpern, daß sie eine träge Masse haben, und schreibt sie den Punktkörpern aus den Verlaufsgesetzen zu. Die Einführung des Massenbegriffs verschieben wir auf den nächsten Abschnitt.

Man analysiert also in der Mechanik die Bewegung eines ausgedehnten, realen Körpers als Bewegung eines Punktkörpers mit einer bestimmten trägen Masse, nämlich der Masse dieses realen Körpers. Mehr heißt es nicht, wenn man sagt, die Mechanik untersuche die Bewegungen und Beschleunigungen von Massenpunkten¹⁷⁾.

Für die Beschleunigungen von Massenpunkten werden Verlaufsgesetze aufgestellt im Zusammenhang mit der experimentell-technischen Entwicklung von Beschleunigungsverfahren. Es sind punktmechanische Beschleunigungsverfahren, durch die eine auf einem realen Körper ausgezeichnete Stelle jeweils eine durch das dazugehörige Verlaufsgesetz vorausberechenbare Beschleunigung erfährt. Mit einigen Körpern und an ihnen markierten Stellen lassen sich dann die punktmechanischen Verlaufsgesetze über Beschleunigungen schon hinreichend gut erfüllen. Aber nicht alle Körper lassen sich so punktmechanisch beschleunigen, da ja in den Verlaufsgesetzen von der Gestalt, dem Volumen und dem Material der Körper abgesehen wird, jedoch diese Eigenschaften die Möglichkeit, sie zu beschleunigen, mitbestimmen.

16) "Wenn wir von physikalischen Bewegungen sprechen, meinen wir Bewegungen, bei denen sich mehr bewegt als ein geometrischer Punkt. Für die Physik interessant sind nur solche Bewegungen, bei denen wir physikalische Größen finden können, die durch den Raum transportiert werden."; FALK/RUPPEL 1975, S. 26, Hervorh. im Original.

17) Überflüssig ist also die nur scheinbar erläuternde Redeweise, daß man sich die Masse des Gesamtkörpers in einem Punkt vereinigt denken soll.

Die methodische Vorgehensweise der Mechanik, diese beschleunigungsrelevanten Eigenschaften trotz des punktmechanischen Ansatzes doch in die Wissensbildung mit einzubeziehen, ist bekannt: bei vielen ausgedehnten physikalischen Körpern läßt sich ein Massenmittelpunkt oder Schwerpunkt bestimmen. Die mechanischen Verlaufsgesetze über die Beschleunigungen von Massenpunkten werden von ausgedehnten Körpern realisiert, wenn man ihren Schwerpunkt durch das zum Verlaufsgesetz gehörende Beschleunigungsverfahren beschleunigt. Das Beschleunigungsverhalten der übrigen Stellen des Körpers läßt sich dann z.B. errechnen aus den sogenannten Zwangsbedingungen, die zwischen den Teilen des Körpers bestehen.

Damit werden schon für eine große Klasse realer physikalischer Körper Beschleunigungen hinreichend gut technisch reproduzierbar. Aber selbstverständlich nicht für alle Körper. So muß man etwa die Materialsorten mechanisch unterscheiden, und man tut dies etwa durch Analyse von Reibungen und die Ermittlung von Haft- und Gleitreibungskoeffizienten für jeweils zwei Materialien. Werden Körper durch Bewegungen deformiert, wird also ihre Gestalt und ihr Volumen verändert, was dann ihr Bewegungsverhalten beeinflussen kann, so werden solche Deformationen in der Elastizitätslehre behandelt.

Interessant für unsere Überlegungen ist dabei, wie für die Analyse solcher Veränderungen von Körpern methodisch vorgegangen wird: sie werden theoretisch so erfaßt und technisch kontrollierbar gemacht, daß sie als Bewegungen und Bewegungsänderungen (Beschleunigungen) von Teilen der ursprünglichen Gesamtkörper behandelt und diese wiederum als Bewegungen und Beschleunigungen von Massenpunkten beschrieben werden, für die die bereits aufgestellten punktmechanischen Verlaufsgesetze angewendet werden können bzw. nun neue aufgestellt werden.

Wir haben hiermit einen Teil des methodischen Forschungsprogramms der Physik angesprochen. Schon die Zielsetzung der klassischen Mechanik, vollbestimmte Bewegungen für beliebige materielle physikalische Körper technisch reproduzierbar zu machen, verweist methodisch letztlich auf den Ansatz, von einem molekularen und atomaren Aufbau¹⁸⁾ der Materie auszugehen. Im Fortgang der empirischen Forschung, das der Mechanik gesetzte Ziel immer besser zu erfüllen, geht man von makrophysikalischen zu mikrophysikalischen Untersuchungen über¹⁹⁾.

6.3.3. Die Begriffe "Masse" und "Kraft" und ihre Stellung innerhalb der Mechanik

Wir werden nun den Massenbegriff einführen. An diese Einführung läßt sich einsichtig die Definition des Kraftbegriffs anschließen. Dabei werden zugleich die Stellung und

-
- 18) Genau genommen werden in der Punktmechanik Teile von Körpern erst einmal unterschieden. Die genaue Untersuchung von Molekülen und Atomen, sowie deren inneren Aufbau stehen unter anderen als nur mechanischen Fragestellungen, etwa den Problemen der Chemie. Trotzdem ist dann auch die Atomphysik im engeren Sinne für die Punktmechanik bedeutsam.
- 19) Nach STEGMÜLLER 1969, S. 456f sind die eigentlichen "Kausalgesetze" Mikrogesetze. Er unterscheidet dabei den Makrobereich vom Mikrobereich durch das Kriterium der Beobachtbarkeit, von dem er selber zugesteht, daß es eine strenge Grenzziehung nicht gestatten würde. Warum die "Kausalgesetze" Mikrogesetze sein sollen, wird wieder nicht weiter begründet, sondern "theorienrealistisch" konstatiert. Versteht man unter den "Kausalgesetzen" die Verlaufsgesetze, nach denen sich Bewegungen, also vollständig bestimmte Bewegungen technisch beherrschen lassen, so läßt sich STEGMÜLLERS Konstatierung folgendermaßen begründen: legt man die Technikorientierung der Mechanik und den punktmechanischen Ansatz zugrunde, so geht die Forschung in die Richtung mikrophysikalischer Untersuchungen. Technisch nicht bewältigte Probleme bei den Versuchen, Körper in vorausberechenbarer Weise zu beschleunigen, werden dadurch gelöst, daß man Teile an dem Körper unterscheidet und die Bewegungen und Bewegungsänderungen dieser Teile punktmechanisch analysiert.

Funktion der beiden Begriffe "Masse" und "Kraft" präzise angeben und die Form der Verlaufsgesetze in der Mechanik als Kraftgesetze hergeleitet. Die Massenmessung diskutieren wir in einem eigenen Abschnitt.

Der besondere Status des Massen und des Kraftbegriffs ist darauf zurückzuführen, daß beide Begriffe in den Teil der Mechanik gehören, der - im Gegensatz zur Kinematik als der Theorie der idealen Bewegungsformen - mit Realisierungsfragen befaßt ist. Wir haben schon auf Seite 171 hervorgehoben, daß die technikorientierte Mechanik ein Wissen darüber liefern soll, wie mit irdischen Körpern Bewegungsformen relativ zur Erde realisiert werden können. Für die methodisch zu entwickelnde Mechanik, genauer die Dynamik wird daher zunächst die Erde als Bezugssystem gewählt.

Weiter ist im Sinne einer pragmatisch-methodischen Ordnung für den Theorieaufbau mit Beschleunigungstechniken zu beginnen, die ihrerseits nicht schon von der erst methodisch aufzubauenden Mechanik geleitet sind, sondern die eben ohne kompliziertes theoretisches Vorwissen mit jederzeit verfügbaren Handlungsschritten in Gang gesetzt werden können ^{19a)}. Das hat zur Folge, daß insbesondere die zu Beginn und beim weiteren Aufbau der Theorie experimentell-technisch zu Gebote stehenden Geschwindigkeiten weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit liegen ²⁰⁾.

19a) Stöße und Stoßexperimente erfüllen diese im Sinne des Prinzips der pragmatisch-methodischen Ordnung an ein Beschleunigungsverfahren, mit dem die Theoriebildung der Mechanik, nämlich zunächst die Massenmessung beginnen kann, zu richtenden Bedingungen in besonders offensichtlicher Weise. Daß historisch die neuzeitliche Physik vor ihrer himmelsmechanischen Wendung bei NEWTON als Stoßmechanik begonnen hat, hat also auch tiefere methodische Gründe für sich.

20) Die Formulierung einer Reichweite-Klausel für die Mechanik mit Hilfe der Lichtgeschwindigkeit ist ein methodisch unbedenklicher Vorgriff. Die Auszeichnung der Lichtgeschwindigkeit als Grenzggeschwindigkeit wird im Rahmen der Elektrodynamik möglich.

Insgesamt ist also die Geltung der Sätze der klassischen Mechanik methodisch von vornherein zweifach eingeschränkt:

a) ist die Erde als dynamisch orientiertes Bezugssystem am Anfang ausgezeichnet, und b) gelten die Sätze der Mechanik nur für Geschwindigkeiten weit unterhalb der sogenannten Lichtgeschwindigkeit. Freilich müssen die Auszeichnung der Erde und die Reichweite-Klausel nur am Anfang explizit gemacht werden, später braucht man sie nicht eigens zu erwähnen. Bei einer methodischen Rekonstruktion der Mechanik muß aber deshalb besonderes Gewicht auf diese Geltungsbedingungen gelegt werden, weil durch sie die klassische Mechanik methodisch als für eine Revision offenstehend ausgewiesen wird.

Wir entwickeln punktmechanische Beschleunigungsverfahren mit dem Ziel, dadurch Bewegungsformen mit realen Körpern möglichst störungsfrei realisieren zu können. Nach dem schon dargestellten punktmechanischen Ansatz werden verschiedene Beschleunigungsverfahren entwickelt, die man gegeneinander isolieren kann²¹⁾. Wann aber ist ein Beschleunigungsverfahren so von anderen beschleunigenden Einflüssen abgeschirmt, daß man sagen kann, ein Körper unterliege nur dem Bewegungsanstoß dieses einen Verfahrens?

21) Die unterschiedlichen Beschleunigungen von zwei Körpern dürfen bei einem punktmechanischen Beschleunigungsverfahren per definitionem nicht darauf beruhen, daß sich die Körper in ihrer Gestalt, ihrem Volumen oder dem Material voneinander unterscheiden. Daß diese Eigenschaften die Beschleunigung eventuell mitbestimmen, läßt sich etwa dadurch prüfen, daß der Körper verformt und anschließend geprüft wird, ob verschiedene Beschleunigungen hervorgerufen werden. Ist dies der Fall, versucht man diese beschleunigenden Einflüsse bei der Anwendung des Beschleunigungsverfahrens auszuschalten. Man unterscheidet dazu weitere Stellen an dem Körper, auf die die beschleunigenden Einflüsse einwirken. Diese Einflüsse analysiert man wiederum durch punktmechanische Verlaufsgesetze, so daß ein weiteres Beschleunigungsverfahren technisch verfügbar wird. Dazu ist es erforderlich, daß man dieses Beschleunigungsverfahren unabhängig, isoliert von dem "alten" (gestörten Verfahren) durch Punktlörper realisieren kann. Die tatsächlich konstatierte Beschleunigung aus einer Anwendung des ursprünglichen Verfahrens wird nach dem noch zu diskutierenden Prinzip der linearen Superposition berechnet als Resultat der Überlagerung des Verfahrens durch die jetzt technisch beherrschten "störenden" Einflüsse.

Ein von anderen beschleunigenden Einflüssen abgeschirmtes, einheitliches Beschleunigungsverfahren liegt dann vor, wenn man eine Reihe von Ausgangsbedingungen kennt, so daß bei konstant gehaltenen Ausgangsbedingungen derselbe Punktkörper jeweils gleich beschleunigt wird und bei kontrollierter Veränderung der Anfangsbedingungen das Verhältnis der jeweiligen Beschleunigungen zweier verschiedener Körper konstant gehalten werden kann^{21a)}.

Wird ein Beschleunigungsverfahren angewendet, so ist die resultierende Beschleunigung von Ausgangsbedingungen abhängig, die durch die Größen $m_1, \dots, m_n$ metrisch beschrieben werden. Eine Veränderung des Wertes dieser Ausgangsgrößen verändert auch die mit einem Körper erzielte Beschleunigung. Bei konstant gehaltenen Ausgangsbedingungen werden zwar verschiedene Körper u.U. unterschiedlich beschleunigt, aber es bleibt das Verhältnis der Beschleunigungen konstant.

Die Größen $m_1, \dots, m_n$ metrisieren aufgrund des punktmechanischen Ansatzes keine den Körpern zukommenden Eigenschaften wie Gestalt, Volumen, Material usw. . Es sind die Größen, die die gleiche Anwendung des Beschleunigungsverfahrens auf verschiedene Körper festlegen. Da bei gleicher Anwendung desselben Beschleunigungsverfahrens verschiedene Körper i.a. verschieden stark beschleunigt werden, muß man, um die aus einer Anwendung resultierende Beschleunigung berechnen und vorhersagen zu können, diese jeweils nur von den Körpern abhängende Eigenheit bei Beschleunigungen kennen, die sich bei gleicher Anwendung desselben Beschleunigungsverfahrens auf verschiedene Körper in deren unterschiedlicher Beschleunigung niederschlägt.

^{21a)} Das gelingt immer erst einmal nur mit bestimmten Körpern, aber reicht dann auch hin, um in den Fällen, wo das Beschleunigungsverfahren diese Konstanz nicht mehr zeigt, mit der Suche nach störenden Überlagerungen zu beginnen und diese selber technisch kontrollierbar zu machen.

Die einzuführende Größe "Masse" (m) soll ein Maß sein für diese, die Beschleunigung mitbestimmende Eigenschaft realer Körper.

Die Richtung der Bewegungsänderung wird durch die Art der Anwendung des punktmechanischen Beschleunigungsverfahrens technisch beherrscht, nur der Betrag der Beschleunigung hängt von der "Masse" des Körpers ab. Da bei jedem Beschleunigungsverfahren seiner methodischen Konstruktion zufolge das Verhältnis der Beschleunigungsbeträge konstant sein soll unabhängig von der Variierung der Ausgangsgrößen $m_1, \dots, m_n$ und "Masse" konzipiert wird als Maß für den "Widerstand" der Körper gegen Bewegungsänderungen, liegt die folgende grundlegende Gleichung für das Massenverhältnis zweier Körper K_1 und K_2 relativ zu Anwendungen eines Beschleunigungsverfahrens nahe:

$$(1) \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{|\vec{a}_2|}{|\vec{a}_1|}.$$

Die in der Gleichung auftretenden Beschleunigungen $\vec{a}_1$ und $\vec{a}_2$ sind Beschleunigungen, die an den Körpern K_1 und K_2 auftreten, wenn die Ausgangsgrößen für das Beschleunigungsverfahren bei den jeweiligen Anwendungen übereinstimmend konstant gehalten werden. Das Massenverhältnis ist aber unabhängig von den verschiedenen, variierten Anwendungen des Verfahrens.

Wenn wir die Massenmessung diskutieren, werden wir einsehen, warum ein Beschleunigungsverfahren zur Massenmessung von der Art sein soll, daß es jeweils auf zwei Körper zugleich angewendet wird. Hier benutzen wir diesen Umstand nur, um die Transitivität der Massengleichheit nachzuweisen. Denn "Masse" ist nur dann ein geeigneter metrischer Begriff, wenn "massengleich" eine Äquivalenzrelation ist.

Zwei Körper sind nun massengleich, wenn bei jeder Anwendung eines punktmechanischen Beschleunigungsverfahrens das Verhältnis der Beträge der Beschleunigungen konstant 1 beträgt.

Bei einem punktmechanischen Beschleunigungsverfahren ist die erzielte Beschleunigung unabhängig von Gestalt, Volumen und Material der beteiligten Körper. Die Bedingung, ein punktmechanisches Beschleunigungsverfahren zu sein, läßt sich auch so ausdrücken: bei gegebenen Anwendungsbedingungen A des Beschleunigungsverfahrens BV ist die bei einem Körper K_1 erzielte Beschleunigung nur eine Funktion der bei dem anderen Körper erzielten Beschleunigung und wenn bei der Anwendungsbedingung A ein Körper K' durch BV gleich beschleunigt wird wie ein Körper K, dann kann K durch K' ersetzt werden und umgekehrt und die unter A mit K durch BV erzielte Beschleunigung bei dem "zweiten" Körper K_1 ist die gleiche wie die unter A mit K' durch BV bei K_1 erzielte Beschleunigung.

Wenn jetzt K_1 massengleich ist mit K und K massengleich mit K_2 , dann ist nach der letzten Transitivitätsvoraussetzung K durch K_2 ersetzbar, weil sich bei jeder Anwendung A von BV für K und K_2 die gleichen Beschleunigungen (dem Betrage nach) ergeben. Da zwischen K_1 und K das Verhältnis der Beschleunigungsbeträge konstant 1 ist, gilt dies auch in Bezug auf BV für K_1 und K_2 . Also ist K_1 massengleich mit K_2 .

Wird ein bestimmtes Beschleunigungsverfahren auf einen Körper K angewendet, so nehmen die Ausgangsgrößen $m_1, \dots, m_n$ feste Werte an. Die K erteilte Beschleunigung läßt sich aber erst dann berechnen, wenn man noch seine Masse kennt. Gemäß (1) gilt die folgende Proportionalität:

$$(2) \quad |\vec{a}| \sim \frac{1}{m}$$

Der Proportionalitätsfaktor, der die Proportionalität zu einer Gleichung macht, und die Richtung der Beschleunigung $\vec{a}$ sind nach den Voraussetzungen allein durch die spezielle Anwendung des Beschleunigungsverfahrens bestimmt. Aus den Größen $m_1, \dots, m_n$ muß sich daher über eine Funktion f ein Vektor berechnen lassen, der die Richtung der Beschleunigung $\vec{a}$ hat und als Betrag gerade den erwähnten Proportionalitätsfaktor. Insgesamt erhalten wir für ein punktmechanisches Beschleunigungsverfahren die Gleichung:

$$(3) \quad \vec{a} = \frac{1}{m} f(m_1, \dots, m_n) \quad .$$

Ein von $m_1, \dots, m_n$ abhängiges punktmechanisches Beschleunigungsverfahren ist in seiner "Wirkung" auf einen Körper mit der Masse m daher darstellbar durch die folgende Gleichung:

$$(4) \quad m \vec{a} = f(m_1, \dots, m_n).$$

In der Mechanik sollen punktmechanische Beschleunigungsverfahren soweit analysiert werden, daß wir sie technisch beherrschen und sich die Beschleunigungen von Körpern, auf die sie angewendet werden, berechnen lassen. Daher stellt die Gleichung (4) die Form der in der Punktmechanik aufzustellenden Verlaufsgesetze dar.

Wir wollen die in der Physik gebräuchliche Terminologie wieder aufnehmen, und den durch $f(m_1, \dots, m_n)$ zu berechnenden Vektor eine Kraft, die Funktion f einen Kraftwirkungsterm und die ganze Funktionsgleichung (4) ein Kraftgesetz nennen. Wird ein Beschleunigungsverfahren auf einen Körper angewendet, so können wir uns nun auch der Ausdrucksweise bedienen, es wirke eine Kraft auf den Körper.

In der Mechanik als empirischer Theorie der technischen Bewegungserzeugung werden Kraftgesetze aufgestellt. Die Form der Kraftgesetze, d.h. daß auf der linken Seite der Funktionsgleichung der Ausdruck $m \vec{a}$ steht, ist jetzt schrittweise begründet worden.

6.3.3.1. Zum Status des Massenbegriffs

Ohne bisher schon über ein bestimmtes Verfahren der Massenmessung geredet zu haben, lassen sich über den Massenbegriff bereits eine ganze Reihe von Aussagen treffen. Der Begriff der Massengleichheit ist abgeschlossen definiert und die Transitivität der Massengleichheit nachgewiesen. Des weiteren ist eine fundamentale Beziehung für das Massenverhältnis zweier Körper durch die Gleichung (1) eingeführt, und schließlich ist mit der Herleitung der Form mechanischer Kraftgesetze auch schon die systematische Stellung des Massenbegriffs innerhalb der Mechanik angegeben.

Wie bei der Einführung des Längen- und des Zeitbegriffs bestätigt sich auch beim Massenbegriff, daß seine Einführung bereits einen theoretischen Kontext voraussetzt und

nicht einfach dadurch vorgenommen werden kann, daß exemplarische Situationen vorgeführt werden, in denen er prädiiziert werden kann. Wenn wir die bisherigen systematischen Überlegungen resümieren, dann macht die Einführung des Massenbegriffs von folgenden methodischen Vorleistungen Gebrauch:

- (a): Wir verweisen auf die alltagsweltliche Erfahrung, die sich immer wieder bewährt, daß verschiedene Körper auf den gleichen Bewegungsanstoß hin unterschiedlich beschleunigt werden.
- (b): Es wird die begründete Zielsetzung der empirischen Mechanik in Anspruch genommen, daß Verlaufsgesetze über das Beschleunigungsverhalten realer Körper aufzustellen sind.
- (c): Es wird der methodische Forschungsansatz benutzt, daß die Beschleunigung realer Körper schrittweise technisch beherrschbar gemacht werden soll über die Beherrschung der Beschleunigung von Punktkörpern.
- (d): In die Einführung des Massenbegriffs geht ein die methodische Norm für die Konstruktion geeigneter Beschleunigungsverfahren, daß nämlich nur dann ein punktmechanisches Beschleunigungsverfahren vorliegt, wenn das Verhältnis der Beschleunigungen für zwei verschiedene Körper konstant gehalten werden kann.
- (e): Die Einführung des Massenbegriffs ist angelegt auch auf die theoretische Funktion und Stellung des Massenbegriffs, bei gegebener Kraftwirkung die Beschleunigung eines ihr ausgesetzten Körpers berechnen (erklären, voraussagen) zu können.

Daß der Begriff der Masse eines Körpers in seiner Einführung abhängig ist von dem "theoretischen Kontext" der zu entwickelnden Bewegungstheorie, wie wir das in den Punkten b) bis e) dargestellt haben, könnte wiederum die Rede rechtfertigen, der Massenbegriff sei ein "theoretischer" Begriff.

Allerdings ist das nicht zu verstehen im Sinne der analytischen Wissenschaftstheorie, worauf wir noch zurückkommen werden.

Ein Punkt der hier vorgetragenen Rekonstruktion des Massenbegriffs verdient besondere Beachtung. Wie ist sichergestellt, daß die grundlegende Gleichung für den Massenvergleich (1) relativ zu jedem punktmechanischen Beschleunigungsverfahren oder wie wir jetzt auch sagen können relativ zu jeder konstanten Kraft gültig ist? Normalerweise wird dies als experimentelles Ergebnis von den Physikern ausgegeben. Betrachten wir dazu z.B. die Argumentation in dem Lehrbuch "Einführung in die theoretische Physik" von SCHAEFER/PÄSLER²²⁾. Nach den Autoren gilt für die gleiche Kraft (z.B. eine Federkraft) folgende Beziehung zwischen den Beschleunigungen $\vec{a}_1, \vec{a}_2 \dots$, die verschiedenen Körpern durch diese Kraft zuteil wird:

$$K = m_1 \vec{a}_1 = m_2 \vec{a}_2 = \dots$$

Sie schreiben: "Die in dieser Gleichung auftretenden Proportionalitätsfaktoren m_i ($i=1,2,3,\dots$) sind Größen, die sicher von der Natur des i -ten Massenpunktes und vielleicht auch von der Kraft K abhängig sind. Diese Frage kann durch das Experiment entschieden werden (Hervorh. v. H.T.), indem man verschiedene Federn auf die nämlichen Massenpunkte wirken läßt. Wir nehmen also eine andere Feder, üben folglich eine andere Kraft K' auf die Massenpunkte aus, die ihnen die Beschleunigungen $a'_1, a'_2, \dots$ erteilen möge. Dann ergibt das Experiment (Hervorh. v. H.T.), daß jetzt

$$K' = m_1 a'_1 = m_2 a'_2 = \dots$$

gilt, wobei die Faktoren m_i ($i=1,2,3,\dots$) dieselben sind wie vorher. In beiden Fällen sind die Massenpunkte ungeändert, aber die Kräfte sind andere. Dennoch sind die

22) SCHAEFER/PÄSLER 1970

Faktoren m_1 ungeändert geblieben, sie sind mithin nicht von den Kräften, sondern nur von der Natur der Massenspunkte abhängig²³⁾.

Diese Argumentation kann angesichts des hier zugrundeliegenden Zirkels in der Einführung des Massen- und des Kraftbegriffs nicht überzeugen. Folgt man dem eben vorgetragenen Einführungsvorschlag, so stellt sich die Sachlage ganz anders dar: die Kraftgesetze werden gerade so konstruiert, daß die "Proportionalitätsfaktoren m_1 " für denselben Körper konstant dieselben bleiben relativ zu jeder Kraft. Nach den Überlegungen, die zur grundlegenden Gleichung (1) für das Massenverhältnis zweier Körper führen, kommt zur Massenmessung prinzipiell nur ein Beschleunigungsverfahren in Frage. Weiter ersieht man aus der durch die Gleichung (4) angezeigten Stellung des Massenbegriffs innerhalb der Mechanik, daß, bevor wir in der Mechanik durch experimentelle empirische Forschung Beschleunigungsverfahren entwickeln, technisch beherrschbar und durch Kraftgesetze in ihrer Funktionsweise darstellen können, wir bereits mindestens ein Beschleunigungsverfahren unabhängig davon zur Massenmessung theoretisch und technisch beherrschen müssen.

Verfügt man über ein solches Beschleunigungsverfahren zur Massenmessung, so können die Massen erster Körper gemessen werden. Darauf können Kräfte unterschieden und experimentell realisiert werden, d.h. es werden Körper, deren Massen bereits gemessen worden sind, durch ein bestimmtes experimentelles Arrangement beschleunigt. Für die dabei erzielten und reproduzierbaren Beschleunigungen $\vec{a}$ eines Körpers mit der Masse m wird ein Term $f(m_1, \dots, m_n)$ aufgestellt. m_1 bis m_n metrisieren die für die Anwendung des Beschleunigungsverfahrens relevanten Ausgangsgrößen. Bei

23) SCHÄFER/FÄSSLER 1970, S.

festen Ausgangsgrößen soll dann $f(m_1, \dots, m_n)$ gerade gleich sein dem Produkt der Masse und der Beschleunigung des Körpers, auf den das Beschleunigungsverfahren angewendet wird. Die durch $f(m_1, \dots, m_n)$ dargestellte vektorielle Größe gilt in der Mechanik als eine Kraft, wenn für weitere physikalische Körper, deren Masse m unabhängig davon gemessen werden kann, ihre Beschleunigung $\vec{a}$ die Gleichung $m \vec{a} = f(m_1, \dots, m_n)$ erfüllt. Aufgrund der methodischen Anweisung, nach der der Term $f(m_1, \dots, m_n)$ aufgestellt wird, ist die Gleichung (4) also gültig.

Es gelingt die experimentelle Realisierung von $m\vec{a} = f(m_1, \dots, m_n)$ zunächst nur für bestimmte physikalische Körper; bei anderen treten Störungen, Abweichungen auf. Es werden weitere technisch kontrollierbare Kräfte gesucht, die es erlauben, die auftretenden Störungen zu erklären und technisch auszuschalten. Hier geht es jedoch nur darum, zu zeigen, wie methodisch durch den Gang der Theoriebildung in der Mechanik gesichert wird, daß das Massenverhältnis zweier Körper relativ zu allen Kräften gleich bleibt und durch die Gleichung (1) bestimmt ist.

Sind nun Kraftgesetze erst einmal akzeptiert, dann können die Massen von Körpern, bei denen das Massenmeßverfahren versagt, "hypothetisch" bestimmt werden, in dem man eine Kraft $f(m_1, \dots, m_r)$ einen festen Wert annehmen läßt und die Beschleunigung a des Körpers mißt. Die Masse des Körpers wird daraus hypothetisch berechnet nach der Formel

$$m = \frac{|f(m_1, \dots, m_n)|}{|\vec{a}|}.$$

Auf die Probleme indirekter Messungen sind wir bereits ausführlich an anderer Stelle eingegangen²⁴⁾.

24) Vgl. Kapitel 3, 3.2.2.

6.3.3.2. Die Massenmessung

Massen werden, das wurde oben schon gesagt und ist aus der Gleichung (1) begründet, über ein Beschleunigungsverfahren gemessen. Prinzipiell kommen für die Massenmessung alle Beschleunigungsverfahren in Frage²⁵⁾. Doch muß mit einem Beschleunigungsverfahren für die Massenmessung begonnen werden. Wir stehen vor dem Problem eines methodischen Anfangs²⁶⁾. Der methodische Anfang, an dem wir stehen, besteht darin, daß für das Beschleunigungsverfahren zur Massenmessung ersichtlich kein Kraftwirkungsterm aufgestellt werden kann und außer den kinematischen Meßgrößen keine weiteren metrischen Beschreibungsmittel zur Verfügung stehen, mit denen die relevanten Ausgangsbedingungen des Massenmeßverfahrens quantifiziert werden können. Diese Ausgangslage schafft das folgende Problem:

a): Wie kann definiert und geprüft werden, ob bei Wiederholungen der Bewegungsanstoß konstant gehalten worden ist?

25) Das ist, wie man sich an den systematischen Einführungen zum Längen- und Zeitbegriff klar machen kann, für die Längen- und Dauermessung anders. Hier gibt es nur ein Meßverfahren. - In der konstruktiv orientierten Wissenschaftstheorie der Physik sind denn auch drei Massenmeßverfahren vorgeschlagen worden: der inelastische Stoß, eine Massenmessung über die Seilwaage und das Gravitationsgesetz. Auf die drei Vorschläge werden wir in diesem Abschnitt noch eingehen.

26) Da methodische Auswahlkriterien, wie wir noch sehen werden, nicht zu einer eindeutigen Lösung führen, ist es z.B. auch zulässig, wissenschaftshistorische Argumente für eine Wahl beizubringen. Das tut etwa LORENZEN 1976 c, S. 6: "Für eine methodische Rekonstruktion schlage ich vor, mit der Masse zu beginnen, weil sich die Newtonsche Gravitationstheorie dann als ein fertiges Theoriestück einfach anschließen läßt. Historisch kann ich mich dabei darauf berufen, daß auch die Descartessche Stoßdynamik der allgemeinen Newtonschen Dynamik vorausging".

Die Konstanz kann nicht definiert und gemessen werden durch die Konstanz einer Kraft, denn eine Kraft kann vor der Massenmessung noch gar nicht gemessen werden. Um die relevanten Ausgangsbedingungen für eine Anwendung des Beschleunigungsverfahrens zur Massenmessung durch metrische Größen beschreiben zu können, kann nur auf die kinematischen Begriffe zurückgegriffen werden, d.h. neben dem Längen- und Zeitbegriff auf die beiden Begriffe "Geschwindigkeit" und "Beschleunigung".

Über die Änderung von Geschwindigkeiten, also über Beschleunigungen ist ein Beschleunigungsverfahren allererst definiert. Mit Hilfe der Begriffe "Geschwindigkeit" und "Beschleunigung" werden die Wirkungen eines Beschleunigungsverfahrens quantitativ erfaßt, sie eignen sich daher nicht dazu, zu definieren, ob der Bewegungsanstoß bei wiederholenden Anwendungen konstant geblieben ist. Es hilft auch die Konstanz der gemessenen Beschleunigung im Fall von Wiederholungen mit demselben Körper nicht weiter, denn für einen Massenvergleich muß der Bewegungsanstoß bei den zwei verschiedenen Körpern konstant derselbe bleiben. Das kann nicht mehr über Wiederholungen mit nur einem Körper festgelegt werden.

Doch gibt es einen einfachen methodischen Ausweg: statt das Beschleunigungsverfahren zuerst auf einen Körper K anzuwenden und seine Beschleunigung zu messen, dann das "konstant gehaltene" Beschleunigungsverfahren auf einen Körper K' anzuwenden und auch dessen Beschleunigung zu messen, nimmt man einen reproduzierbaren Bewegungsanstoß, der von vornherein zwei Körper zugleich beschleunigt. Die Konstanz des Bewegungsanstosses für zwei Körper muß nicht mehr eigens gesichert werden, da derselbe Bewegungsanstoß schon die zwei Körper mit einem Mal beschleunigt. Es muß sich nur die Konstanz des Verhältnisses der Beschleunigungen hinreichend genau technisch realisieren lassen.

Es ist aber noch ein zweites Problem bei der Massenmessung zu lösen, nämlich:

b): Wie kann gesichert werden, daß die Bewegungsänderung nur auf dem Bewegungsanstoß des Massenmeßverfahrens beruht?

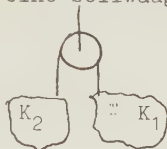
Die beiden Körper sollen keinen anderen beschleunigenden Einflüssen unterliegen als dem Bewegungsanstoß, der zur Massenmessung verwendet wird. Ein Körper ist unbeschleunigt, wenn er ruht oder sich geradlinig, gleichförmig (relativ zu einem Bezugssystem) fortbewegt. Wenn von einem Bewegungsanstoß der Zeitraum ausgemacht werden kann, in welchem er auf einen Körper wirkt, ein Körper in dieser Zeit auch beschleunigt wird, während er davor und danach ruht oder sich geradlinig, gleichförmig bewegt, so kann man behaupten, daß nur der Bewegungsanstoß auf den Körper beschleunigend einwirkt und er von anderen beschleunigenden Einflüssen hinreichend abgeschirmt ist.

Fassen wir unsere Überlegungen zusammen, ergibt sich für die Wahl eines geeigneten Verfahrens zur Massenmessung die folgende methodische Bestimmung: Man wähle ein Beschleunigungsverfahren, dessen Wirkungskdauer angegeben werden kann, und wende es auf zwei Körper zugleich an, von denen jeder ruht oder sich geradlinig, gleichförmig bewegt²⁷⁾. Nachdem die Wirkungskdauer des Bewegungsanstosses verstrichen ist, befindet sich jeder der beiden Körper wieder in einem Zustand der Ruhe oder einer geradlinig, gleichförmigen Bewegung. Das Verhältnis der Differenzen der Geschwindigkeitsbeträge (vor und nach dem Bewegungsanstoß) bleibt bei Wiederholungen konstant und ist unabhängig von den Anfangszuständen der beiden Körper.

Der inelastische Stoß, den LORENZEN zur Massenmessung vorschlägt, erfüllt genau diese methodischen Anforderun-

27) Die beiden Körper müssen sich nicht jeweils im gleichen Bewegungszustand befinden, weder vor noch nach dem Bewegungsanstoß.

gen an ein geeignetes Verfahren zur Massenmessung²⁸⁾.
JANICH macht einen anderen Vorschlag. Für die Massenmessung schlägt er vor, eine Seilwaage zu benutzen, das ist ein Gerät der Art:



"Folgende symmetrische Anordnung nenne ich eine Seilwaage (...). Mit geometrischen Bestimmungen allein läßt sich die Starrheit der Seile im Sinne von Längenkonstanz sowie die Rotationssymmetrie des Seilrades und die Parallellität der Zugseile charakterisieren. Von Seilwaage soll aber nur dann die Rede sein, wenn tatsächlich Zug vorliegt.

Zwei Körper K_1 und K_2 mögen massengleich heißen, wenn sich die Seilrolle bezüglich Zugrichtung nicht dreht. Für die Seilwaage wird die Gerätefunktionsnorm aufgestellt "massengleich" sei Äquivalenzrelation!"²⁹⁾

Auch der JANICHsche Vorschlag wird der Grundintention einer mechanischen Massendefinition gerecht. Zwei Körper sind massengleich, wenn sie auf einen Bewegungsanstoß hin in gleicher Weise beschleunigt werden. Durch den Zug der Seilwaage werden die Körper zugleich beschleunigt (wie bei der Massenmessung über den Stoß), und ruhen sie vor dem Zug relativ zueinander, so darf bei Massengleichheit auf denselben Bewegungsanstoß keine Relativbewegung zwischen den beiden Körpern eintreten. Das ist der Sinn der JANICHschen

28) Vgl. LORENZEN/SCHWEMMER 1975, S. 234 und LORENZEN 1976 c, S. 6. Auf Details kann wohl verzichtet werden, man findet sie in jedem Lehrbuch der Mechanik.

29) JANICH 1975, Das Maß der Masse (unveröffentl. Manuskript), S. 16

operativen Definition von "massengleich"³⁰⁾.

Der dritte Vorschlag zur Massenmessung (und zur Definition der mechanischen Kraft), der innerhalb der konstruktiv orientierten Wissenschaftstheorie der Physik im Gespräch ist, läuft über das Gravitationsgesetz, das dadurch einen nicht-empirischen Status bekommt. Der Vorschlag wird von DINGLER und THÜRING vertreten³¹⁾. Der Vorschlag ist argumentativ-methodisch weit aufwendiger als die beiden Vorschläge von LORENZEN und JANICH³²⁾. Doch soll dies kein Einwand sein. Gemäß der systematischen Argumentation, die wir zur Einführung des Massenbegriffs entwickelt haben, kommt im Prinzip jedes Beschleunigungsverfahren zur Massenmessung in Frage³³⁾. Man muß sich allerdings für ein Verfahren entscheiden, um die empirische Theoriebildung im Rahmen der Mechanik in Gang zu bringen.

-
- 30) Mit der Seilwaage wird zunächst nur die Massengleichheit operationalisiert, das Massenverhältnis zweier beliebiger Körper ist dadurch noch nicht quantitativ bestimmbar. "Der Übergang zu einem metrischen Massenbegriff erfolgt durch eine Homogenitätsforderung, die zur Herstellung homogen dichter Körper auffordert: Ein Körper heiße dabei homogen dicht, wenn für zwei beliebige, aber gleichvolumige Teile aus ihm gilt, daß sie massengleich sind. Damit ist die Massenmetrik durch die Volumen- bzw. Längenmetrik bestimmt"; JANICH 1976, Ist Masse ein "theoretischer Begriff"?, unveröffentl. Vortrag, S. 11. Beim Vorschlag von JANICH steht zur Zeit noch ein Eindeutigkeitsbeweis aus, das ist der Nachweis, daß die Massenbestimmung von der (homogenen) Materialsorte unabhängig ist. - Der Weg über homogen dichtes Material entfällt bei der Massenmessung über den inelastischen Stoß.
- 31) Vgl. etwa DINGLER 1964, S. 212ff. und THÜRING 1967, Drittes und Viertes Kapitel, S. 75ff. .
- 32) Ich jedenfalls muß gestehen, daß ich durch die argumentativen Herleitungen des Gravitationsgesetzes weder bei DINGLER noch bei THÜRING restlos "durchgestiegen" bin.
- 33) "Manuelle Realisierungen des Gravitations-Axioms" diskutiert z.B. THÜRING 1967, Viertes Kapitel, Teil B. Das CAVENDISH-Experiment ist dann etwa eine solche Realisierung und kann als Massenmeßverfahren angesehen werden.

Macht man sich die methodische Ausgangssituation klar, von der aus mit dem Aufbau der technikorientierten Mechanik begonnen wird, so stellt sich das folgende Bedenken gegen den Vorschlag von DINGLER und THÜRING ein: Das Gravitationsgesetz ist das konstitutive Verlaufsgesetz der Himmelsmechanik. Die Himmelsmechanik folgt aber aufgrund der Besonderheit ihres Gegenstandsbereiches einer anderen Zielsetzung und Fragestellung als die "irdische" (JANICH) technikorientierte Mechanik³⁴⁾. THÜRING kommt deutlich eher von den Problemstellungen der Himmelsmechanik als von denen der "irdischen" technikorientierten Mechanik her³⁵⁾. Geht man jedoch von der technikorientierten Mechanik aus und stellt man auch in Rechnung, daß der technikorientierten irdischen Mechanik ein methodischer Primat vor der Himmelsmechanik einzuräumen ist, dann ist es jedenfalls naheliegend, mit einem "irdischen", einfach handhabbaren Beschleunigungsverfahren für irdische Körper zu beginnen, für die ja zunächst auch erste Massen gemessen werden sollen. Irdische Körper durch Stoß oder durch Zug mit einer Seilwaage zu beschleunigen, setzt viel näher als "Realisierungen des Gravitationsgesetzes" (etwa durch das CAVENDISH-Experiment) an den lebensweltlich-handwerklichen Techniken der Bewegungserzeugung an.

Eine grundsätzliche Entscheidung zwischen dem Vorschlag von LORENZEN und dem von JANICH herbeiführen zu wollen, ist von der systematischen Argumentation her, die wir zum Massenbegriff vorgetragen haben, m.E. überflüssig. Beide Vorschläge leisten, was für den methodischen Beginn der Dynamik über die Massenmessung und die daran anschließende

34) Zum methodischen Verhältnis von Himmelsmechanik und technikorientierter Mechanik siehe den letzten Abschnitt dieses Kapitels.

35) Das wird bei THÜRING besonders an den einleitenden Untersuchungen über ein geeignetes Bezugssystem für die Mechanik deutlich; vgl. THÜRING 1967, S. 52ff.

Aufstellung erster Kraftgesetze erforderlich ist³⁶⁾. Daß zwei konkurrierende Massenmeßverfahren bereitstehen, ohne daß je nach dem, auf welches Verfahren die Wahl fällt, der Gang der empirischen Theoriebildung nennenswert anders ausfallen würde, beruht letztlich auf dem besonderen Status des Massenbegriffs (im Unterschied zu den kinematischen Begriffen): er gehört in den Kontext von Realisierungsfragen und ist konzipiert im Hinblick auf seine Stellung und Funktion innerhalb der Verlaufsgesetze, die für eine technikorientierte Mechanik aufzustellen sind.

JANICH allerdings dürfte sich mit dieser "versöhnlerischen" Auffassung nicht ohne weiteres zufrieden geben³⁷⁾. Er wendet gegen den inelastischen Stoß als Massenmeßverfahren ein, "daß die Erwartung der Geschwindigkeitsinvarianz durch nichts begründet ist, auch wenn das Ziel, eine geschwindigkeitsinvariante Massenverhältnisdefinition zu gewinnen, gerechtfertigt ist. Es fehlt m.a.W. ein Realisierungsverfahren, dessen Beschreibung die Geschwindigkeitsinvarianz logisch impliziert. Erst wenn durch Handlungsanweisungen explizit die technisch beherrschbaren Komponenten eines Sachverhalts klar sind, können Abweichungen davon auf Störumstände zurückgeführt werden. Lorenzens Definition ist also nicht operativ³⁸⁾,...".

Nun ist die Geschwindigkeitsinvarianz beim Stoß erst einmal keine Erwartung, weder bei LORENZEN noch nach der hier vorgetragenen systematischen Argumentation, sondern

36) Beide Verfahren zur Massenmessung versagen schon für viele irdische Körper, so daß indirekte Massenmessungen über abgeleitete Massenmeßverfahren benutzt werden müssen. Daß dies keine methodischen Komplikationen nachsichzieht, haben wir oben erörtert.

37) JANICH 1977, S. 80 spricht selber abschwächend von einer "graduellen" Differenz zu der Auffassung LORENZENs.

38) JANICH 1977, S. 81f., Hervorh. im Original

eine final formulierte Aufforderung³⁹⁾, die begründet ist⁴⁰⁾. JANICH vermißt an dieser Aufforderung einen afinalen Bestandteil, aus dem "logisch" ersichtlich wird, wie und daß (Eindeutigkeit) die Geschwindigkeitsinvarianz realisierbar ist.

Stehe "Z" für die final formulierten Normen des inelastischen Stosses als Massenmeßverfahren, "Z" enthält also insbesondere die Feststellung der Geschwindigkeitsinvarianz, und stehe "h" für die Beschreibung der nacheinander auszuführenden Handlungen, mit denen wir Stöße realisieren, dann ist nach JANICH die Behauptung "h bewirkt Z" nicht apriorisch und die Geschwindigkeitsinvarianz wird nicht aus "h" logisch gefolgt (JANICH meint, die Wirkungsbehauptung "h bewirkt Z" begründe nur eine Erwartung der Geschwindigkeitsinvarianz).

Gleichwohl ist seine Behauptung zu stark, "h bewirkt Z" sei durch nichts begründet, denn de facto realisieren wir im Rahmen der Meßgenauigkeit sehr wohl ineleastische, zentrale, geschwindigkeitsinvariante Stöße, was auch JANICH nicht ernstlich in Abrede stellen kann, und der Verweis auf eine gelungene und immer wieder gelingende Technik ist sehr wohl eine Begründung der Behauptung "h bewirkt Z". Diese Begründung ist bloß keine logische Deduktion aus der Handlungsnorm "h".

Logisch deduzieren läßt sich, daß, wenn der Stoß geschwindigkeitsinvariant ist, dann die Massenmessung über den Stoß

39) "Von Aufforderungen zur Ausführung von Handlungen - von 'schlichten' oder afinalen Aufforderungen - kann man Aufforderungen zur Herbeiführung von Sachverhalten - finale Aufforderungen - unterscheiden."; SCHWEMMER 1976, S. 120.

40) Für die technisch-experimentelle Beherrschung (insbesondere Isolierung) und theoretische Unterscheidung eines Beschleunigungsverfahrens wählen wir als Kriterium die Konstanz der Beschleunigungsverhältnisse (dem Betrage nach) unabhängig von den realisierten verschiedenen Beschleunigungen, die aus einer entsprechenden Veränderung der Ausgangsbedingungen resultieren. Für den Stoß ist dies gleichbedeutend mit der geschwindigkeitsinvarianten Konstanz der Geschwindigkeitsverhältnisse.

eindeutig ist. Läßt man die empirische Theoriebildung im Rahmen der Mechanik mit der Massenmessung über den inelastischen, zentralen Stoß anfangen, so gehören die Techniken des Stosses zu der handwerklich-technischen Basis, auf die die Mechanik als experimentelle, technik-orientierte Wissenschaft verwiesen ist, so wie sie auch u.a. von den Techniken der Gestalterzeugung abhängig ist. Über diese Techniken, die der Mechanik zugrundeliegen, werden immer wieder Wirkungszusammenhänge S_1 (!)h S_2 realisiert und verfügbar gemacht, die in der Mechanik zwar für den Aufbau der Theorie in Anspruch genommen werden, jedoch nicht mehr erklärt werden im Sinne einer Herleitung aus den Verlaufsgesetzen der Mechanik.

Verweist man auf eine gelungene Technik, wird damit trotzdem nicht unkritisch auf ein bloßes Faktum der Technikgeschichte rekurriert. Durch die Norm "Z" für den inelastischen Stoß werden Zwecke expliziert, die der technischen Praxis, Körper zu stoßen, kritisch-normativ untergelegt werden, wodurch diese Praxis also auf den Begriff gebracht wird. Die die Mechanik ermöglichenden Techniken werden nicht erklärt, sondern müssen eben vom Wissenschaftstheoretiker wie vom Physiker verstanden werden⁴¹⁾.

JANICH führt noch einen zweiten Einwand gegen den inelastischen Stoß als geeignetes Massenmeßverfahren an. Zum Stoß muß, da Geschwindigkeiten zu messen sind, ein Bezugssystem ausgezeichnet werden. Wenn K_1 , K_2 die beiden stoßenden Körper sind, so werden die Geschwindigkeiten von K_1 , K_2 und des nach dem Stoß entstandenen Gesamtkörpers K_{1+2} in Bezug auf einen Körper K_3 gemessen. "Handwerker und in der Regel

41) Daß geschwindigkeitsinvariante Stöße über gewisse Handlungen sich realisieren lassen, ist kein "von außen an diesen technischen Handlungszusammenhang" herangetragenenes Wissen, wie MITTELSTRASS das ausdrückt.

auch Physiker wählen die Erde als K_3 . Da aber diese Auszeichnung keine Rolle spielen darf, muß auch ein gegen die Erde "stark beschleunigter" Körper als Bezugskörper K_3 infrage kommen. Auf diesen bezogen haben dann K_1 und K_2 ein anderes Massenverhältnis als bei Bezug auf die Erde, wobei "stark beschleunigt" auf die jeweils tatsächlich angewendeten Geschwindigkeitsmeßverfahren relativiert ist. M.a.W. zu jeder tatsächlich erfolgten Bestimmung eines Massenverhältnisses läßt sich ein anderer Bezugskörper angeben, der ein anderes Massenverhältnis für dieselben Körper ergibt⁴²⁾.

Warum die Auszeichnung der Erde als Bezugskörper keine Rolle spielen darf, ist m.E. nicht einzusehen. Wir wollen technikorientierte Mechanik nicht in "beliebigen Welten" treiben, sondern auf der Erde, und für die Himmelsmechanik gehen wir dann noch zu den Galaxien über, von denen DINGLER sagt, daß sie in der "näheren Umgebung der Sonne" liegen. Ein geeignetes Bezugssystem nominatorenfrei definieren zu wollen, ist nicht in dem Sinne nötig, wie dies für die Meßgeräte erforderlich ist, damit Messungen reproduzierbar sind. Bei Meßgeräten wollen wir nicht von "zufälligen" Prototypen und ihren "zufälligen" Eigenschaften abhängig werden. Aber daß wir auf der Erde und stets von ihr aus Mechanik treiben, ist keine "zufällige Auszeichnung" eines Körpers, und diese Auszeichnung der Erde brauchen wir auch nicht in der Theoriebildung vergessen zu machen. Wird ein fester Körper als Bezugssystem gewählt und die Theorie darauf immer bezogen, so verlieren die aufzustellenden Verlaufsgesetze nicht ihre Allgemeinheit, die wir für eine technikorientierte Mechanik brauchen.

Die Gleichung (4) gibt die vorläufige Form der Verlaufsgesetze an, die im empirischen Teil der Mechanik aufgestellt werden. Auf der linken Seite der Verlaufsgesetze stehen die Massen der Körper, also wird das dynamisch orientierte

42) JANICH 1977, S. 83

Bezugssystem für die Massenmessung gewählt, auf das die Mechanik als Gesamtheorie (als System von Verlaufsge-
setzen) bezogen wird. Für das in der Mechanik gewählte
Bezugssystem muß die Konstanz des Verhältnisses der Be-
schleunigungen relativ zu dem Beschleunigungsverfahren
gelten, das als Massenmeßverfahren gewählt wird⁴³⁾.

Aus den systematischen Überlegungen zu dynamisch orien-
tierten Bezugssystemen folgt weiter, daß wir die Theorie
zunächst auf die Erde als allgemeinen Bezugskörper be-
ziehen. Stellt sich jedoch heraus, daß Relativbewegungen
der Erde gegenüber anderen Körpern, insbesondere beschleu-
nigte Relativbewegungen der Erde dynamisch relevant sind
für die Möglichkeit, auf der Erde geschwindigkeitsinvari-
ante, inelastische Stöße zu realisieren, dann ist das ein
Grund, statt der Erde einen anderen (konkreten) Bezugskör-
per zu wählen, etwa das FKS, und die Theorie darauf fest
zu beziehen⁴⁴⁾. Auch die für die Massenmessung vorzuneh-
menden Geschwindigkeitsmessungen erfolgen relativ zu die-
sem neuen Bezugskörper. Daß bereits relativ zur Erde als
Bezugssystem vorgenommene Massenmessungen dann u.U. zu
korrigieren sind, soweit die Körper noch verfügbar sind,
ist zwar wahr, macht aber die Massenmessung deshalb noch
lange nicht uneindeutig, solange wir immer ein festes Be-
zugssystem auszeichnen.

6.3.4. Kraftgesetze

Mit der Einführung des Massenbegriffs haben wir $m \vec{a} =$
 $f(m_1, \dots, m_n)$ als Form der mechanischen Verlaufs-gesetze

43) Aus den Normen für den inelastischen Stoß folgt der
Impulssatz. Daher kann man sagen: werden Massen über
Stöße gemessen, muß in dem Bezugssystem der Impuls-
satz gelten. Ein Bezugssystem mit dieser Eigenschaft
definiert LORENZEN als Inertialsystem; vgl. LORENZEN/
SCHWEMMER 1975, S. 235.

44) Die Pendelversuche von FOUCAULT haben gezeigt, daß die
Erde kein Inertialsystem, oder genauer: kein hinreichend
gutes für viele Bewegungsprobleme ist.

hergeleitet. Verlaufsgesetze dieser Form haben wir, wie in der Physik allgemein üblich, Kraftgesetze genannt. Was nun läßt sich methodisch, was soviel heißt wie: vor jeder Aufstellung eines bestimmten Kraftgesetzes über die Kraftwirkungsterme $f(m_1, \dots, m_n)$ aussagen? Genauer haben wir uns die zwei Fragen vorzulegen:

- a) Welche Größen $m_1, \dots, m_n$ kommen als Argumente einer Kraftfunktion vor?
- b) Welche methodisch begründeten Eigenschaften muß eine geeignete Kraftfunktion f aufweisen?⁴⁵⁾

ad a): Kraftgesetze werden aufgestellt im Rahmen unserer experimentell-technischen Bemühungen, Beschleunigungsverfahren technisch beherrschbar zu machen. Die Kraftgesetze dienen dazu, die Beschleunigungen von Körpern, auf die die Verfahren angewendet werden, zu berechnen und vorauszubestimmen. Die Beschleunigungsverfahren selber gehören zur experimentellen Technik und werden innerhalb der Kraftgesetze nicht metrisch beschrieben, wie wir in Kapitel 4

45) Das NEWTONsche Kraftgesetz lautet in der Formulierung von NEWTON selber: "Die Aenderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt"; NEWTON 1963, S. 32. Nach unseren Überlegungen ist das NEWTONsche Kraftgesetz zu rekonstruieren als eine methodische Anweisung für die Form der in der Mechanik aufzustellenden Verlaufsgesetze. Es ist nicht selber ein Kraftgesetz. In den Physiklehrbüchern steht man in aller Regel der Frage sehr hilflos gegenüber, welchen Status das NEWTONsche Kraftgesetz hat und wie es begründet werden kann. Es heißt etwa in dem Lehrbuch von GOLDSTEIN 1972, S. 1 dazu: "Das physikalisch Wesentliche der Mechanik eines Teilchens ist in Newtons zweitem Bewegungsgesetz (Hervorh. im Original) enthalten, das gleichermaßen als grundlegendes Postulat oder als Definition von Kraft und Masse angesehen werden kann". Es bleibt völlig unklar, ob das Newtonsche Bewegungsgesetz als Postulat empirisch ist oder nicht; es bleibt unklar, wie eine Gleichung zugleich zwei Begriffe ("Kraft" und "Masse") definieren kann; es wird nicht erörtert, ob ein empirisches Postulat zugleich eine Definition sein kann. Die Ausführungen von GOLDSTEIN bezeugen Ratlosigkeit und methodische Gedankenlosigkeit; leider sind sie durchaus symptomatisch.

bereits am allgemeinen Zusammenhang von Verlaufsgesetzen und experimenteller Technik ausgeführt haben⁴⁶⁾.

Außerdem sind die Beschleunigungsverfahren punktmechanisch konzipiert: daher kommen Volumen, Gestalt, Material oder andere Eigenschaften der zu beschleunigenden Körper nicht durch Meßgrößen repräsentiert im Term einer Kraftfunktion als Argumente vor. Nur die Masse wird als spezifische, nur den Körpern zukommende Eigenschaft berücksichtigt, tritt aber auf der linken Seite der Kraftgesetze auf. Als für ein Beschleunigungsverfahren relevante Ausgangsgrößen bleiben die kinematischen Größen Ort, Dauer und Geschwindigkeit übrig.

Wird ein von anderen beschleunigenden Einflüssen hinreichend abgeschirmtes punktmechanisches Beschleunigungsverfahren auf einen Körper angewendet, so wird dadurch eine geradlinig gleichförmige Bewegung des betreffenden Körpers ihrer Richtung oder dem Betrage der Geschwindigkeit nach abgeändert. Wie ein Körper durch einen entsprechenden Bewegungsanstoß beschleunigt wird, kann von dem momentanen, durch $\dot{r}(t)$ beschriebenen Bewegungszustand zu dem Zeitpunkt abhängen, an dem der Bewegungsanstoß beschleunigend auf den Körper einzuwirken beginnt.

Neben der Geschwindigkeit des Körpers kann auch der Ort, an dem er sich gerade befindet, wenn der Bewegungsanstoß auf ihn wirkt, relevant sein für die Beschleunigung, die dem Körper mitgeteilt wird. Man denke an den Fall, daß der Körper an eine ausgezogene Feder gehängt wird: die relative Lage des Körpers zu dem anderen, fest verankerten Ende der Feder bestimmt die Beschleunigung, die der Körper

46) Ein technisches Beschleunigungsverfahren ist z.B., wenn ein Körper an einem gespannten Körper gehängt wird und die Feder dann entspannt wird. Das Kraftgesetz dazu lautet: $F = -D x$. Die experimentelle Anordnung wird nicht durch das Kraftgesetz dargestellt, über sie muß man als kundiger Experimentator zusätzlich Bescheid wissen.

durch die Federkraft erfährt. Allgemeiner formuliert: die Beschleunigung eines Körpers kann eine Funktion des Ortes oder genauer seiner relativen Lage zu anderen Körpern (in der Literatur oft "Umgebung" des Körpers genannt) sein, da jedes Beschleunigungsverfahren einerseits gewisse technische Handlungen (z.B. hochheben, an eine Feder hängen usw.) und andererseits bestimmte Geräte (z.B. eine Feder usw.) umfaßt, die bei dem über die Handlungen in Gang gesetzten Bewegungsanstoß benutzt werden. Die relative Lage des zu beschleunigenden Körpers zu der Person, die die entsprechenden technischen Handlungen ausführt, bzw. zu den benutzten Geräten kann einen Einfluß darauf haben, in welcher Weise der Bewegungsanstoß auf den Körper einwirken kann ("Angriffspunkt der Kraft") und welche Beschleunigung daraus resultiert. In ähnlicher Weise kann man noch dafür argumentieren, daß die Kraftfunktionen eventuell zeitabhängig sind.

Insgesamt ist damit positiv einsichtig gemacht, daß in Kraftfunktionen der Ort, die Geschwindigkeit des zu beschleunigenden Körpers und die verstrichene Zeitdauer als Argumente auftreten können. Ein Kraftgesetz hat also die mathematische Struktur einer Differentialgleichung:

$$m \ddot{r}(t) = f(r(t), \dot{r}(t), t) .$$

Aus der bei der Einführung des Massenbegriffs hergeleiteten Form der mechanischen Verlaufsgesetze, aus dem punktmekanischen Ansatz, Gestalt, Volumen, Material als für die Beschleunigung relevante Größen wiederum auf die Bewegung und Beschleunigung von Punktkörpern (Teile oder molekulare Partikel der Körper) zurückzuführen und aus dem allgemeinen Zusammenhang zwischen Verlaufsgesetzen und der dazugehörigen experimentellen Technik ergibt sich, daß ein Kraftwirkungsterm eine Funktion von Ort, Zeit und Geschwindigkeit ist. Daß die Kraftgesetze die Form haben:

$$m \ddot{r}(t) = f(r(t), \dot{r}(t), t)$$

ist also vor jeder experimentellen Erfahrung aus den methodischen Anweisungen für den Aufbau der klassischen Partikelmechanik begründet. Die "experimentelle Erfahrung lehrt" nur, welcher Term für f bei einem bestimmten Beschleunigungsverfahren einzusetzen ist und von welcher der drei Größen $r(t)$, $\dot{r}(t)$ und t die Beschleunigung eines Körpers bei dem entsprechenden Beschleunigungsverfahren tatsächlich abhängig ist⁴⁷⁾.

ad b) In Kapitel 4 hatten wir die Form physikalischer Verlaufsgesetze angegeben mit

$$(1) \quad r(t_0 + \delta) = f(m_1, \dots, m_n, \delta).$$

Jetzt haben wir für die Mechanik Gesetze der Form

$$(2) \quad m \ddot{r}(t) = f(r(t), \dot{r}(t), t)$$

hergeleitet. Welcher Zusammenhang besteht zwischen (1) und (2) ?

Die Form (1) für mechanische Verlaufsgesetze hatten wir aus der Zielsetzung begründet, vollständig bestimmte Bewegungen dadurch reproduzierbar zu erzeugen, daß wir zu einem festen Zeitpunkt t_0 die von uns technisch beherrschten Größen $m_1, \dots, m_n$ im Zusammenhang mit einem experimentellen Arrangement feste Werte annehmen lassen, worauf die Bewegung eines Körpers einsetzt, deren Verlauf $r(t_0 + \delta)$ für jedes δ feststeht. Wir wissen, daß der Körper einem Beschleunigungsverfahren ausgesetzt wird, das von dem Ausgangsgrößen t , $\dot{r}(t)$ und $r(t)$ abhängt und dessen Kraftgesetz bekannt ist. Solange der Körper dem Beschleunigungsverfahren unterliegt, führt er eine vollständige bestimmte Bewegung aus.

47) "Wie die in der Natur vorkommenden Kräfte beschaffen sind, d.h. von welchen Größen sie abhängen und wie diese Abhängigkeit aussieht, kann man nur aufgrund der Erfahrung (Hervorh. H.T.) sagen. Diese lehrt, daß die (in der Mechanik interessierenden) Kräfte, die auf einen Massenpunkt m wirken, von dessen Ortsvektor r und/oder seiner Geschwindigkeit $v = \dot{r}$ und auch von der Zeit t abhängen können."; SCHAEFER/PÄSLER 1970, S. 92. Diese Argumentation ist wieder typisch für die empiristische Berufung auf die Natur, zu der die Physiker greifen,

Dieser Zusammenhang zwischen der in einem Zeitintervall auf einen Körper über ein Beschleunigungsverfahren wirkenden Kraft und der daraus resultierenden vollständig, bestimmten Bewegung wird deutlich, wenn z.B. die Kraftfunktion eine explizite Funktion der Zeit ist. Denn dann gilt:

$$\ddot{\mathbf{r}}(t) = \frac{1}{m} \mathbf{f}(t), \text{ und daraus folgt}$$

$$\mathbf{r}(t) = \frac{1}{m} (\mathbf{r}(t_0) + \dot{\mathbf{r}}(t_0) + \int_{t_0}^t (\int_{t_0}^{\sigma} \mathbf{f}(\sigma') d\sigma') d\sigma).$$

Sind also der Ort und die Geschwindigkeit des Körpers mit der Masse m für einen Anfangszeitpunkt t_0 , wo der Bewegungsanstoß zu wirken beginnt, bekannt, so läßt sich seine Bahn für jeden späteren Zeitpunkt aus dem Kraftgesetz des Beschleunigungsverfahrens durch Integration bestimmen.

Allgemein: die allgemeine Lösung der Differentialgleichung $m \ddot{\mathbf{r}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{r}(t), \dot{\mathbf{r}}(t), t)$, des angewendeten Kraftgesetzes liefert eine Bewegungsform $\mathbf{r}(t)$, die in die Bahnfunktion einer konkreten Realisierung übergeht, wenn jetzt noch der Ort und die Geschwindigkeit für einen festen Zeitpunkt festgelegt sind. Aus dem (1) und (2) zugrundeliegenden experimentellen Zusammenhang folgt, daß der in einem Kraftgesetz vorkommende Kraftwirkungsterm $\mathbf{f}$ der Term einer bei entsprechenden Randwerten eindeutig lösbaren Differentialgleichung sein muß. Das ist die methodisch begründbare Anforderung an einen Kraftwirkungsterm.

Erfüllt $\mathbf{f}$ diese Bedingung, dann führen die Lösungen der Differentialgleichungen oder Kraftgesetze von der Form (2) stets auf eine Bewegungsform, die durch eine Bahnfunktion $\mathbf{r}(t)$ beschrieben wird. Indem Bewegungsformen dadurch reali-

wenn es eigentlich um methodische Normen der Theoriebildung geht.

siert werden, daß man auf Körper die Bewegungsanstöße von Beschleunigungsverfahren einwirken läßt, werden die Bahnen $r(t)$ der daraus resultierenden vollständig bestimmten Bewegungen Funktionen des Ortes und der Geschwindigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt, der Masse und der verstrichenen Zeitdauer, d.h.

$$r(t_0 + \delta) = k(r(t_0), \dot{r}(t_0), \delta, m).$$

6.4. Das NEWTON-Programm und die methodische Begründung der Dynamik

Im folgenden Abschnitt werden wir die methodische Grundlegung der Dynamik abschließen, die wir mit der Einfügung des Massen- und des Kraftbegriffs sowie mit der Herleitung der Form mechanischer Verlaufsgesetze begonnen haben. Wir gehen dabei in zwei Schritten vor:

Im ersten Schritt wird das Prinzip der linearen Superposition als theoriekonstitutives Prinzip der empirischen Mechanik begründet. Im zweiten Schritt werden wir das NEWTON-Programm formulieren und als methodische Grundlage der Dynamik vorstellen.

6.4.1. Das Prinzip der linearen Superposition

Stellen wir uns die folgende Forschungssituation vor: wir verfügen technisch über ein Beschleunigungsverfahren BV_1 , für das wir ein vorläufig bewährtes Kraftgesetz $m \ddot{r}(t) = k_1(r(t), \dot{r}(t), t)$ aufgestellt haben. Die technische Verfügung über BV_1 besagt, daß wir physikalische Körper durch BV_1 nach der durch das Kraftgesetz vorausberechenbare Weise beschleunigen können, und zwar reproduzierbar. Es trete nun der Fall ein, daß, wenn wir Körper einer bestimmten Klasse K durch BV_1 beschleunigen, jedes Mal eine andere Beschleunigung eintritt als nach dem Kraftgesetz $m \ddot{r}(t) = k_1(r(t), \dot{r}(t), t)$ zu erwarten ist. Wir wollen das eine Störung nennen. Von einer Störung wollen wir nur re-

lativ zu einem akzeptierten Verlaufsgesetz reden, durch das eine Erwartung begründet wird, die sich nicht erfüllt⁴⁸⁾.

Wird der ursprüngliche Anwendungsbereich, für den das technische Wissen sich bisher bewährt hat, ausgedehnt und treten jetzt nicht zu übersehende Störungen auf, d.h. werden die Körper anders beschleunigt, als aufgrund der Kraftgesetze zu erwarten ist, dann soll das technische Wissen so abgeändert oder weiterentwickelt werden, daß es sich für den ausgeweiteten Anwendungsbereich bewährt, aber das an ihm orientierte technische Handeln mindestens das Niveau hält, das die am "alten" Wissen orientierte technische Praxis für den restringierten ursprünglichen Anwendungsbereich schon erreicht hatte⁴⁹⁾. Eine Möglichkeit dazu ist die, das bisherige Wissen zu ergänzen, so daß das bisher schon gebildete und bewährte technische Wissen darin als Teilwissen vorkommt und bewahrt wird. Diese Möglichkeit wird für die Mechanik gerade durch das Prinzip der linearen Superposition zugelassen und wahrgenommen: man läßt das bisherige System von Kraftgesetzen ungeändert und fügt ihm nur weitere Kraftgesetze hinzu.

Das Prinzip der linearen Superposition besteht in der folgenden methodischen Anweisung:

Entwickle ein weiteres Beschleunigungsverfahren BV_2 und stelle dazu ein Kraftgesetz $m \ddot{r}(t) = k_2(r(t), \dot{r}(t), t)$ auf, so daß gilt:

48) Vgl. LORENZEN/SCHWEIMMER 1975, S. 241f. Im Kapitel 7 werden wir auf die Störungsproblematik im Zusammenhang mit der Falsifikation und Exhaustion nochmals zurückkommen.

49) Das von FEYERABEND propagierte Prinzip der Bewahrung erhält innerhalb der Mechanik durch das Prinzip der linearen Superposition eine methodisch klare Fassung.

- a) BV_1 und BV_2 können voneinander isoliert oder experimentell getrennt werden, d.h. es gelingt, BV_2 auf Körper einer bestimmten Klasse anzuwenden, indem $k_2(r(t), \dot{r}(t), t) \neq 0$ verschiedene Werte annimmt, während gleichzeitig stets $k_1(r(t), \dot{r}(t), t) = 0$ oder wenigstens $k_1(r(t), \dot{r}(t), t) = \text{constant}$, und umgekehrt;
- b) für die Beschleunigungen, die aus Versuchen der unter a) geschilderten Art resultieren, gilt:
- $$\ddot{r}(t) = m = k_2(r(t), \dot{r}(t), t) \text{ bzw. } m \ddot{r}(t) = k_2(r(t), \dot{r}(t), t) + \text{Konstante}$$
- c) Berücksichtigt man für die Körper aus der Klasse K, für die bei der Anwendung von BV_1 bisher stets von dem Kraftgesetz $m \ddot{r}(t) = k_1(r(t), \dot{r}(t), t)$ abweichende Beschleunigungen erzielt wurden, k_2 mit, so gilt für die tatsächlich festgestellte Beschleunigung $\ddot{r}(t)$
- $$m \ddot{r}(t) = k_1(r(t), \dot{r}(t), t) + k_2(r(t), \dot{r}(t), t)^{50}).$$

Als methodische Anweisung, wie Störungen bei der Realisierung von Kraftgesetzen zu beseitigen sind, ist das Prinzip der linearen Superposition zu begründen. Es behauptet daher insbesondere nicht "von den in der Natur vorkommenden Kräften", daß diese sich störungsfrei überlagern, sondern wir gehen in der Theoriebildung so vor, daß das eine Kraft in der Mechanik genannt wird, was sich mit den anderen Kräften störungsfrei überlagert. Der Erfolg der experimentellen Praxis zeigt dabei nur, daß es uns in der Tat gelingt, das Prinzip der linearen Superposition beim Aufbau der Mechanik zu befolgen, besonders Beschleunigungsverfahren technisch zu beherrschen und gegeneinander abzuschirmen.

50) Bei NEWTON ist das Prinzip der linearen Superposition kein Grundsatz oder Gesetz der Bewegung", erscheint nur als "Zusatz" über die Zerlegbarkeit von Kräften. Auch wissenschaftstheoretische Untersuchungen schenken dem Prinzip i.a. nicht die Beachtung, die ihm eigentlich gebührt. Denn es ist das theoriekonstitutive Prinzip der Mechanik, wie wir noch weiter ausführen werden.

6.4.2. Das NEWTON-Programm als methodische Grundlage der Dynamik

Als Zusammenfassung unseres gesamten bisherigen, systematischen Gedankenganges können wir jetzt formulieren: Die klassische (Partikel-)Mechanik dient dem Ziel, ein Wissen darüber zu bilden, wie in der Kinematik mit zweimal stetig differenzierbaren Bahnen konstruierte und durch Bahnfunktionen $r(t)$ analytisch dargestellte Bewegungsformen mit realen Körpern möglichst störungsfrei zu realisieren sind. Dazu sollen die folgenden Aufforderungen befolgt werden:

- (1) Entwickele punktmechanische Beschleunigungsverfahren, die technisch beherrscht und voneinander isoliert werden können!
- (2) Zu jedem Beschleunigungsverfahren stelle ein Kraftgesetz der Form: $m \ddot{r}(t) = k(r(t), \dot{r}(t), t)$ auf!
- (3) Wende eines oder mehrere der Beschleunigungsverfahren auf einen Körper mit der Masse m so an, daß die ihm erteilte Beschleunigung $\ddot{r}(t)$ sich berechnen läßt durch $m \ddot{r}(t) = \sum_k k(r(t), \dot{r}(t), t)$, und daraus eine vollständig bestimmte Bewegung $r(t)$ des Körpers resultiert!
- (4) Entwickele nach dem punktmechanischen Ansatz und dem Prinzip der linearen Superposition ein solches System von Kraftgesetzen, daß gemäß der Vorschrift (3) für einen möglichst großen Anwendungsbereich (Klasse von Körpern) alle technisch sinnvollen Bewegungsformen hinreichend genau realisiert werden!

Die Vorschriften (1) bis (4) nennen wir zusammenfassend das NEWTON-Programm der klassischen Mechanik⁵¹⁾. Die klassische Partikelmechanik, so wie sie in den Mechaniklehrbüchern als Satzsystem vorliegt, verstehen wir als das Ergebnis des befolgten NEWTON-Programms. Das NEWTON-Pro-

51) Von NEWTON-Programm spricht LORENZEN 1976 c, S. 9.

gramm ist deshalb als die methodische Grundlage der Dynamik anzusprechen, weil es ein System von Anweisungen oder Normen für die Theoriebildung ist. Normen für die Theoriebildung werden üblicherweise als Methoden bezeichnet.

Jeder der im voranstehenden Text unterstrichenen Termini, mit denen das NEWTON-Programm formuliert wird, ist von uns eingeführt worden oder zumindest hinreichend erläutert worden. Die Begründung des NEWTON-Programms betrachte ich durch den systematischen Gang der Argumentativen als geleistet und abgeschlossen. Die Methoden, d.h. die Normen für die Theoriebildung, wie sie im NEWTON-Programm für den Aufbau der Mechanik vorgeschlagen werden, sind ihrerseits zweckrational begründet. Von den Methoden muß gezeigt werden, daß durch ihre Befolgung das Ziel erreicht wird, das der Mechanik gesteckt ist: die technische Beherrschung von Bewegungsformen. Dieses Ziel technischer Beherrschung zu verfolgen, bedeutet nichts anderes, als sich das Prinzip der Zweckrationalität für den Umgang mit Körpern und ihren Bewegungen zu eigen zu machen.

In die Begründung des NEWTON-Programms gehen im einzelnen ein:

- die alltagsweltliche Erfahrung im Sinne des Vollzugs von elementaren Handlungen und Prädikationen, Körper und Bewegungen unterscheiden, Bewegungen selber handelnd bewirken zu können;
- die formentheoretischen Ideationen, die aus dieser alltagsweltlichen Erfahrung hervorgehen: die Ideationen, die zur Geometrie und Chronometrie führen und auf denen die kinematische Konstruktionen der Bewegungsformen beruhen, durch die Kriterien für die Reproduzierbarkeit von Bewegungen festgelegt werden;
- die im Zusammenhang mit den formentheoretischen Ideationen stehende alltagsweltliche Erfahrung im Sinne eines nicht-metrischen generellen Wissens über die Möglichkeit, mit bestimmten Körpern und Materialien geometrische For-

- men hinreichend genau zu realisieren;
- die im Zusammenhang mit dem tätigen Vollzug, Körper zu bewegen, stehende alltagsweltliche Erfahrung im Sinne eines explizit artikulierten generellen Wissens, daß Körper auf Bewegungsanstöße unterschiedlich reagieren.

Neben diesen alltagsweltlichen Erfahrungen und den daraus erwachsenden Ideationen und Konstruktionen geht in das NEWTON-Programm der Ansatz ein, über eine Punktmechanik, also über eine Theorie der Bewegung von Punktkörpern den vielfältigen Schwierigkeiten Herr zu werden, die sich ergeben, sollen Bewegungsformen mit realen Körpern realisiert werden.

Das NEWTON-Programm mit seinen methodischen Vorschriften kann ersichtlich durch physikalische Empirie, d.h. durch Messungen nicht widerlegt werden, denn es schreibt allererst vor, was gemessen werden soll und zur Aufstellung welcher Verlaufsgesetze die Meßresultate ausgewertet werden sollen. Messungen können uns immer nur dazu veranlassen, die bisher akzeptierten Verlaufsgesetze, in der Mechanik die Kraftgesetze abzuändern; es lassen sich immer mathematische Funktionen aufstellen, die mit den endlichen vielen Meßergebnissen im Einklang stehen. Methodische Anweisungen, wie sie das NEWTON-Programm darstellen, können begründeterweise nur revidiert werden, wenn die ihnen zugrundegelegten Zielsetzungen aufgegeben oder verändert, insbesondere erweitert werden oder wenn die Verwirklichung des Programms insgesamt fehlschlägt.

Scheitern wir bei dem Versuch, ein Forschungsprogramm wie das NEWTON-Programm in die Tat umzusetzen, können wir uns dabei nicht auf Messungen berufen. Das Scheitern des Forschungsprogramms muß allein daran festgemacht werden, daß es nicht gelingt, in der Befolgung der methodischen Anweisungen das der Theorie gesteckte Ziel auch zu erreichen. Das bedeutet, daß das NEWTON-Programm der Mechanik dann

scheitert, wenn es uns mit den nach seinen Anweisungen entwickelten Theorien nicht gelingt, Bewegungsformen mit realen Körpern weitgehend störungsfrei und reproduzierbar zu verwirklichen bzw. den Anwendungsbereich, für den wir Bewegungsformen technisch beherrschen wollen, auszuweiten.

Wir können aber niemals definitiv wissen, daß das Programm gar nicht erfolgreich sein kann, also aufgegeben werden sollte, wenn wir nicht einen alternativen methodischen Ansatz, also ein "neues" Forschungsprogramm vorschlagen können und mit diesem Forschungsprogramm Erfolg haben, so daß wir das alte mit dem neuen Forschungsprogramm vergleichen und feststellen können, was wir im alten nicht berücksichtigt oder falsch gemacht haben und warum wir deshalb mit dem letzteren gescheitert sind.

Fassen wir zusammen: die klassische Partikelmechanik erhält ihre methodische Grundlage und Begründung durch das NEWTON-Programm, das nicht empirisch ist, d.h. durch Messungen nicht widerlegbar. Bewähren muß sich das NEWTON-Programm dadurch, daß es uns in Befolgung seiner Anweisungen gelingt, das der Mechanik gesetzte Ziel auch wirklich zu erreichen.

6.5. Die Mechanik als empirische Theorie

6.5.1. Zur methodischen Funktion von Meßdaten für die Mechanik (Dynamik)

In der Wissenschaftstheorie versteht man i.a. unter einer Theorie ein System von Verlaufsgesetzen. Der systematische Zusammenhang zwischen den einzelnen Verlaufsgesetzen wird nach der Auffassung der Analytiker neben einem Begriffssystem, mit dem alle Verlaufsgesetze gleichermaßen formuliert und dadurch auf einen "gemeinsamen Gegenstandsbe-

reich" bezogen werden, vor allem durch logisch-deduktive Ableitbarkeitsbeziehungen gestiftet.

Man strebt, um diese für eine Theorie konstitutive logisch-deduktive Struktur übersichtlich und transparent für logisch-mathematische Operationen zu machen, eine Axiomatisierung der Theorie an, so daß alle Verlaufsgesetze aus einigen wenigen "Grundgesetzen" deduziert werden können. Die Rede von den "NEWTONschen Axiomen" erinnert daran, daß auch die klassische Partikelmechanik axiomatisch aus den "Grundsätzen der Bewegung" hergeleitet werden soll.

Diese Charakterisierung eines theoretischen Systems trifft nicht die klassische Mechanik: nicht durch logisch-mathematische Deduktionszusammenhänge, sondern durch das methodisch begründete Prinzip der linearen Superposition werden verschiedene Kraftgesetze zu einer Theorie zusammengefaßt. Das NEWTON-Programm fordert dazu auf, gerade so viele Kräfte zu unterscheiden und als Beschleunigungsverfahren technisch verfügbar zu machen, daß durch "störungsfreie Überlagerung" dieser Kräfte vollständig bestimmte Bewegungen technisch reproduziert werden können. Bei einer experimentell-technischen Anwendung der Mechanik wird im Prinzip immer ein Körper mit der Masse m über Bewegungsanstöße beschleunigt: es wird dabei entweder nur ein einzelnes Beschleunigungsverfahren isoliert von anderen oder mehrere zugleich angewendet. Um die Beschleunigung vorauszuberechnen, wird die Gleichung

$$m \ddot{\mathbf{r}}(t) = \sum_{i=1}^m \mathbf{k}_i(\mathbf{r}(t), \dot{\mathbf{r}}(t), t),$$

also das System der Kraftgesetze in linearer Superposition benutzt, wobei in jeder Anwendung einige der $\mathbf{k}_i = 0$ sein können.

Die klassische Mechanik ist daher ein System von Kraftgesetzen in linearer Superposition und läßt sich als Theorie darstellen durch die Grundgleichung:

$$m \ddot{\mathbf{r}}(t) = \sum_{i=1}^m \mathbf{k}_i(\mathbf{r}(t), \dot{\mathbf{r}}(t), t).$$

Die Mechanik ist eine empirische Theorie, empirisch im Sinne physikalischer Empirie. Die Kraftgesetze werden aufgestellt im Kontext einer umfangreichen messenden Experimentierpraxis. Nur über Experimente lernen wir einzelne Beschleunigungsverfahren zu unterscheiden, technisch reproduzierbar zu machen, konstant in den Anfangsbedingungen zu halten und gegen andere Bewegungsanstöße zu isolieren. Nur über Experimente können wir erfahren, von welchen der Größen $r(t)$, $\dot{r}(t)$ und t die Beschleunigung bei dem entsprechenden Verfahren abhängig ist. Nur auf der Basis von Experimentielergebnissen ist es sinnvoll und möglich, einen mathematischen Term als Kraftfunktion für das Kraftgesetz eines Beschleunigungsverfahrens vorzuschlagen. Schließlich können Konstante in den Kraftfunktionen nur über wiederholte Messungen ermittelt werden.

Trotzdem ist die Theoriebildung in der Mechanik nicht so ausschließlich und einseitig an die experimentellen Meßresultate zu binden, wie das die verschiedenen Varianten des Empirismus fordern. Der Empirismus stellt im wesentlichen drei Forderungen auf (die er zudem oft als deskriptive Beschreibung dessen ausgibt, was die Physiker faktisch machen), von denen er meint, daß durch ihre Befolgung die Theoriebildung mehr oder weniger eindeutig festgelegt und damit der "Gang einer sicheren Wissenschaft" garantiert sei.

- A): Messe zuerst und formuliere die Theorie nach den Meßdaten!
- B): Akzeptiere nur Theorien, die mit den Meßergebnissen in Einklang stehen!
- C): Widersprechen Meßdaten den Theorien, verwirf und verändere das falsifizierte Verlaufsgesetz bzw. die Theorie!

Alle drei Forderungen werden einer Theoriebildung und -entwicklung im Rahmen des NEWTON-Programms nicht gerecht. Das soll im folgenden erläutert werden:

ad A): Die Forderung A) impliziert die These vom Primat der Messungen vor der Theorie. Ihr liegt die Vorstellung zugrunde, daß die physikalische Theoriebildung ihren Ausgangspunkt nimmt von tabellarisch angeordneten Meßreihen⁵²⁾ und die Theoriebildung sich reduziert auf das "arithmetische" Problem, eine reell-analytische Funktion zu finden, mit der die "abhängigen" Meßdaten aus den unabhängigen berechnet werden können. DINGLER hat diese Auffassung als die "arithmetische Form des empirischen Matrizenapriorismus" kritisiert⁵³⁾.

Die These vom Primat der Messungen vor der Theorie unter schlägt die technischen und theoretischen Vorleistungen und ihre methodisch-pragmatische Ordnung, die erbracht sein müssen, damit überhaupt messend experimentiert werden kann. Um sinnvolle Meßresultate zu erzielen, müssen folgende Schritte schon abgeschlossen sein:

- es muß das Ziel der Forschung explizit sein, andernfalls wäre das Messen und Experimentieren ein ziel- und wahlloses Herumprobieren;
- es muß die Form der auf der Basis der Messungen aufzustellenden Verlaufsgesetze methodisch ausgearbeitet sein,

52) "Diese Tabelle kann man graphisch darstellen durch eine Punktreihe, welche man durch eine kontinuierliche Kurve approximieren kann, welch letztere selbst wieder, analytisch ausgedrückt, eine "Funktion" liefert, durch die man die Punktreihe analytisch beschreibt. ... Immerhin sieht man, daß bei dieser Auffassung die Aufstellung der theoretischen Physik eine fast rein arithmetische Angelegenheit geworden ist. Es ist die Aufgabe, eine große Menge von Zahlentabellen möglichst genau aus einem einzigen mathematischen System von Gleichungen heraus darzustellen." DINGLER 1928, S. 46f, Hervorh. im Original.

53) Vgl. DINGLER 1928, S. 47.

andernfalls wüßte man nicht, welche Größen überhaupt gemessen werden sollen, wie die Größen in "abhängige und unabhängige Variable" aufzuteilen und wie schließlich die Meßergebnisse theoretisch auszuwerten und weiterzuverwenden sind;

- es muß die Prototheorie der Meßgrößen ausgearbeitet sein und auf ihrer Basis müssen funktionsgerechte Meßgeräte zur Verfügung stehen, andernfalls wäre weder die Reproduzierbarkeit noch die Eindeutigkeit der Messungen sichergestellt.

Alle diese Vorleistungen, ohne die methodisch empirische Theoriebildung in der Mechanik nicht in Gang kommen kann, werden in der Kinematik, der Einführung des Massenbegriffs und im weiteren NEWTON-Programm bereitgestellt. Resümiert man das in dieser Arbeit zur Kinematik, zum Massenbegriff und zum NEWTON-Programm Gesagte, so wird deutlich, wieviel sich über die empirische Theorie methodisch sagen läßt, ohne ein einziges Mal gemessen zu haben. Was im Empirismus angeblich die Messungen festlegen, geht tatsächlich den Messungen als sie allererst ermöglichende theoriegeleitete und theorieumfassende Vorleistungen voraus. Es gibt keinen Primat der Messungen vor der Theorie.

Ad B): Bei der Entscheidung, ein System von Kraftgesetzen zu akzeptieren und beizubehalten, ist ein Gesichtspunkt, ob die Kraftgesetze mit den bisherigen Messungen übereinstimmen und zukünftige wie erwartet, d.h. wie aufgrund der Kraftgesetze vorausberechnet ausfallen werden. Aber die Theorie nach und in Einklang mit den Meßdaten aufzustellen, kann isoliert nicht der einzige, unmittelbar orientierende Gesichtspunkt der Forschung sein, weil Meßdaten, kurz formuliert, die inhaltliche Gestalt der Theorie nicht determinieren. Das hat zwei Gründe.

Erstens läßt sich dieses Ziel, mathematisch betrachtet, immer trivialerweise erfüllen. Zu den bei einem bestimmten Stand der Forschung zur Verfügung stehenden Meßergebnissen

Läßt sich stets eine Funktion finden, mit der sich die endlichen vielen Werte der "abhängigen" Variable $m \ddot{r}(t)$ berechnen lassen aus den Werten der "unabhängigen Variablen" $r(t)$, $\dot{r}(t)$ und t , die in den "Meßtabellen" protokolliert sind.

Außerdem ist die Forderung an Kraftgesetze, die rechnerische Beherrschung der bisherigen Meßergebnisse zu gestatten, kaum beschränkend, denn es lassen sich die endlich vielen Meßresultate sogar durch unendlich viele reell-analytische Funktionen "approximieren", von denen zwar wieder einige im Fortgang der Forschung ausscheiden, weil sie sich prognostisch nicht bewähren, aber es bleiben immer noch unendlich viele Funktionen als Kandidaten für den "wirklichen" Kraftwirkungsterm übrig zu jedem Zeitpunkt der Forschung. Da sich also das "Ziel" der Übereinstimmung der Theorie mit den Meßdaten leicht erfüllen läßt, ohne in der Frage der Auswahl alternativer Kraftgesetze dadurch nennenswert weiterzukommen, kann die Wahl eines bestimmten Kraftgesetzes als Teil der Theorie nicht allein von den Messungen abhängig gemacht werden.

Zweitens bringt uns die Erreichung dieses Ziel viel weniger als wir mit der Mechanik eigentlich zu erreichen suchen. Wir wollen nicht einfach, daß die bei Experimenten erzielten Beschleunigungen mit den theoretisch berechneten übereinstimmen, vielmehr wollen wir gerade solche Beschleunigungen experimentell erzielen, daß wir von uns konstruierte Bewegungsformen störungsfrei realisieren.

Solche Beschleunigungen aber machen wir schrittweise reproduzierbar, indem wir nach und nach verschiedene Beschleunigungsverfahren technisch beherrschen lernen, aus deren "störungsfreier Überlagerung" die gewünschten Beschleunigungen sich erzielen lassen.

Von der Seite der Experimentierkunst betrachtet: schreitet die Wissensbildung fort und erweitert sich unser technisches Können, modifizieren wir u.U. auch wieder ein bereits entwickeltes Beschleunigungsverfahren, um es nach dem Prinzip der linearen Superposition mit den neu entwickelten Beschleunigungsverfahren so geeignet abstimmen und technisch verknüpfen zu können, daß die gezielte gleichzeitige Anwendung dieser von uns technisch beherrschten Kräfte zu den durch die Bewegungsformen ausgezeichneten Beschleunigungen führen.

Betrachtet man dieses Voranschreiten der Forschung von der Seite der Theoriebildung, also von der Aufstellung eines Systems von Kraftgesetzen her, so ergibt sich: für das Kraftgesetz eines einzelnen Beschleunigungsverfahrens sind wir nicht auf bestimmte empirische, d.h. gemessene Beschleunigungen festgelegt, die die Aufstellung des Kraftgesetzes orientieren, da wir das zugehörige Beschleunigungsverfahren u.U. abändern und modifizieren und der Veränderung der dabei erzielten experimentellen Beschleunigungen durch einen neuen Kraftwirkungsterm Rechnung tragen (und auch immer, wie wir oben gezeigt haben, Rechnung tragen können). Erst die aus dem System der in linearer Superposition stehenden Kraftgesetze berechenbaren Beschleunigungen müssen übereinstimmen im Rahmen der Meßgenauigkeit mit Beschleunigungen, die sich dann zwar auch messen lassen müssen, wird die Theorie experimentell angewendet, die aber gleichwohl nicht als bloß empirische Daten eruiert worden sind, sondern durch die Konstruktion der Bewegungsformen von vornherein feststehen und vorgegeben sind.

Da sich keine nur empirisch durch Messungen aufweisbaren und nicht veränderbaren (!) Daten auszeichnen lassen, mit denen die Theorie der Mechanik unbedingt in Einklang stehen muß, die sie unbedingt "erklären" muß, ist die Ver-

träglichkeit von empirischen Meßdaten und Theorie kein unmittelbar forschungsleitendes Ziel. Wir verändern vielmehr unsere experimentellen Arrangements solange und bringen sie auf ein solches technisches Niveau, daß die technisch erzeugten und dann auch gemessenen Werte übereinstimmen mit den kinematisch vorgegebenen Werten aus den Konstruktionen von Bewegungsformen. Die Übereinstimmung von Theorie und Meßergebnissen stellt sich ein als Folge der unter den methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms stehenden Forschungsbemühungen, ein verlässliches technisches Wissen zur Realisierung von Bewegungsformen zu bilden.

Ad C): Diese Forderung läßt die methodische Struktur der Mechanik als Theorie in besonderer Weise unberücksichtigt. Erst einmal gilt, daß Messungen selber theoriegeleitet und über die Prototheorien der Meßverfahren theorieabhängig sind. Es kann daher theoretisch gegen Meßresultate argumentiert werden. Da man Meßergebnisse begründeterweise manchmal in Zweifel ziehen kann, müssen Widersprüche zwischen Messungen und theoretischen Berechnungen nicht immer und zwangsläufig der Theorie angelastet werden. Insofern zwingen Meßergebnisse nicht dazu, Theorien zu verwerfen.

Wichtiger und für die Mechanik spezifischer aber ist, daß nach dem Prinzip der linearen Superposition Widersprüche zwischen Theorie und Meßdaten eher zum Anlaß genommen werden, die bisherige Theorie um weitere Kraftgesetze zu erweitern und statt sie durch neue zu ersetzen. Die widerlegende Kraft von Meßresultaten wird dadurch entscheidend relativiert und abgeschwächt gegenüber der empiristischen Konzeption einer Widerlegung von Theorien durch Messungen.

Besonders die Kritik an den empiristischen Normen B) und C) hat gezeigt, daß hier vergessen wird, daß nicht einzelne Kraftgesetze, sondern stets das System der Kraftgesetze mit Meßergebnissen konfrontiert werden soll. Dieser

Gesichtspunkt ist unter dem Titel der "DUHEM-QUINESchen-Holismusthese" in der wissenschaftstheoretischen Diskussion⁵⁴⁾. Die endlich vielen Kraftgesetze der Mechanik werden dabei durch das Prinzip der linearen Superposition zu einem theoretischen Ganzen strukturiert. Es ist daher nicht zu viel behauptet, wenn man feststellt, daß das Prinzip der linearen Superposition das theorickonstituierende methodische Prinzip der empirischen Mechanik im engeren Sinne ist.

Der letztlich entscheidende Gesichtspunkt, nach dem ein System von in linearer Superposition stehenden Kraftgesetzen akzeptiert wird, ist nach unseren Überlegungen festgemacht am Ziel der Technikorientierung: "in the long run" unserer Forschungsbemühungen, die unter den methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms stehen, müssen wir uns in den Stand versetzen, Bewegungsformen möglichst störungsfrei technisch zu beherrschen. Stellt sich dieser Erfolg langfristig ein, gilt die dabei entwickelte mechanische Theorie als bewährt⁵⁵⁾.

6.5.2. Die Revidierbarkeit der klassischen Mechanik

Seit POPPERs "Logik der Forschung" gilt in der analytisch ausgerichteten Wissenschaftstheorie die Widerlegbarkeit, die Falsifizierbarkeit eines Theoriegebäudes als zentrales Kriterium dafür, ob wir überhaupt ein wissenschaftlich sinnvolles Satzsystem vor uns haben. Sätze davor bewahren zu wollen, an Widerlegungen zu scheitern, sie vor Kritik zu "immunisieren", wie es heißt, gilt als die schlimmste Verletzung "wissenschaftlicher Rationalität", der man sich

54) Vgl. STEGMÜLLER 1973a, S. 266ff. und LORENZEN/SCHWEMMER 1975, S. 239

55) Auf diesen Bewährungsbegriff und die darin implizierte Kritik an den Bestätigungskonzeptionen der analytischen Wissenschaftstheorie kommen wir im folgenden 7. Kapitel nochmals zurück.

überhaupt schuldig machen kann.

Und seit nun die Widerlegbarkeit durch Erfahrung zum entscheidenden Kennzeichen einer "empirisch gehaltvollen, wissenschaftlichen Theorie" avanciert ist, steht die konstruktive Wissenschaftstheorie in dem schlechten Ruf, den "progressiven Fallibilismus" der analytischen Wissenschaftstheorie umgehen und der Tendenz nach große Teile der klassischen Mechanik "aprioristisch oder letztbegründen" zu wollen und "anerkannte" Teile der Physik wie die Relativitätstheorie, da sie der "rationalen" klassischen Mechanik zuwiderläuft, einfach "apriori" zu verwerfen und wegzudiskutieren.

An der Frage, ob die hier von uns begründete klassische Mechanik revidiert werden kann, läßt sich also die Kritik der Analytiker an der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik auf ihre Berechtigung hin untersuchen. Und auch für die Physiker wird sich an der Antwort auf die Frage nach der Revidierbarkeit der klassischen Mechanik i.a. entscheiden, ob für sie die konstruktive Wissenschaftstheorie der Physik annehmbar sein wird. Wir wollen sie ausführlich behandeln, ohne opportunistische Zugeständnisse an den "wissenschaftstheoretischen Zeitgeist", der eine positive Antwort erwartet, zu machen.

Wir wollen die Frage sogleich genauer stellen, nämlich als eigentlich zwei Fragen:

- Ist das NEWTON-Programm revidierbar und wenn ja, welches sind die zulässigen Revisionsgründe?
- Ist die Einlösung des Programms durch eine Theorie der Form $m \ddot{r}(t) = \sum_{i=1}^n k_i(r(t), t)$ revidierbar und wenn ja, welches sind die zulässigen Revisionsgründe?

Die zweite Frage haben wir im vorigen Abschnitt bereits positiv entschieden. Ein System von Kraftgesetzen in linearer Superposition kann nach den Anweisungen des NEWTON-

Programms im Hinblick auf das der Mechanik gesetzte Ziel verändert oder aufgegeben werden. Und dabei wird man sich im Zusammenhang mit den Bemühungen, Kräfte technisch verfügbar zu machen, immer auch auf Experimentiierungsergebnisse und Messungen berufen. Im vorangegangenen Abschnitt ist nur dagegen argumentiert worden, in falsifizierenden Meßergebnissen einen "Zwang" zu einer sofortigen, nicht aufzuschiebenden Revision der Theorie zu sehen. Der Empirismus der analytischen Wissenschaftstheorie verkennt, daß "einer" Mechanik der Gestalt

$$m \ddot{r}(t) = \sum_{i \in A} k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$$

das NEWTON-Programm als Methode zugrundeliegt.

Wann wir ein System von Kraftgesetzen in linearer Superposition um weitere Kraftgesetze erweitern, wann wir das bisherige System verändern oder gar zur Gänze aufgeben sollen, darüber läßt sich wissenschaftstheoretisch nichts allgemein sagen. Warum das so ist, wollen im 7. Kapitel in der Auseinandersetzung mit der analytischen Wissenschaftstheorie erörtern.

Die erste Frage, die Frage nach der Revidierbarkeit des NEWTON-Programms ist wissenschaftstheoretischer Diskussion im strengen Sinne allein zugänglich, haben wir hier doch die Frage vor uns, ob Anweisungen, Normen für die Theoriebildung aufgegeben und andere an ihre Stelle gesetzt werden sollen.

Die Brisanz dieser Frage wird nun insbesondere dadurch erhöht, daß beim Übergang von der klassischen zur relativistischen Mechanik nicht einfach die klassische Theorie der Gestalt

$$m \ddot{r}(t) = \sum_{i \in A} k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$$

durch eine andere Theorie derselben Form abgeändert wird, wobei die Änderung noch nach den Vorschriften des NEWTON-

Programms vollzogen wird, sondern mit der Relativitätstheorie wird das NEWTON-Programm selber verändert. Aufgrund des durch EINSTEIN revidierten NEWTON-Programms entsteht eine Theorie mit anderen Verlaufsgesetzen, eben die relativistische Mechanik.

Wenn man sich die Frage vorlegt, ob das NEWTON-Programm revidierbar ist, kann man prinzipiell die folgenden Teilrevisionen ins Auge fassen:

- a) Es wird die klassische Kinematik revidiert, wie sie für die Längen- und Dauermessung und für die Konstruktion von Bewegungsformen in Anspruch genommen wird;
- b) Es werden revidiert die Konzeption und die Prototheorie des klassischen Massenbegriffs;
- c) Es wird revidiert die Form der Kraftgesetze;
- d) Es wird revidiert das theoriekonstituierende Prinzip der linearen Superposition⁵⁶⁾.

Wäre es unabhängig von allen anderen Fragestellungen nur um eine "irdische" (JANICH) technikorientierte Mechanik ungeladener (!) Körper gegangen, es bestünde bis auf den

56) Die Relativitätstheorie wird gemeinhin so dargestellt und interpretiert, daß durch sie das NEWTON-Programm nach a), b) und c) revidiert wird. Die Kontroverse zwischen den meisten Physikern und den analytischen Wissenschaftstheoretikern auf der einen Seite, den Vertretern der konstruktiven Wissenschaftstheorie auf der anderen liegt schwergewichtig bei der Frage, ob eine Revision der Art a) überhaupt statthaft ist. Dieser Frage können wir im Rahmen dieser Arbeit nicht nachgehen. Wir werden deshalb nur allgemeine Gesichtspunkte herausarbeiten, unter denen Revisionen des NEWTON-Programms denkbar und im Einklang mit dem Prinzip der methodischen Ordnung ausführbar sind. Sie können einer noch ausstehenden detaillierten Rekonstruktion und Interpretation der Relativitätstheorie als methodischer Leitfaden dienen. - Im konstruktiven "Lager" ist die Problematik der Relativitätstheorie erst in jüngster Zeit durch noch unveröffentlichte Aufsätze von LORENZEN wieder ins Rollen gebracht worden; vgl. LORENZEN 1976 d und e.

heutigen Tag kein zwingender Anlaß, das NEWTON-Programm zu revidieren. Als technikorientierte Theorie zur Erzeugung von Bewegungsformen mit irdischen Körpern und Geschwindigkeiten weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit ist die klassische Mechanik eine bestens bewährte Theorie. Und das ist sicher ein Grund mit dafür, daß auch die heutigen Lehrbücher der Physik, obwohl die relativistische Revision akzeptiert ist, mit der Darstellung der klassischen Mechanik beginnen. Für den Ingenieur, der Maschinen auf der Erde baut, ist die klassische Mechanik immer noch eine unverzichtbare Theorie, die ihm das nötige technische Wissen liefert.

Einsichtige Gründe für eine Revision des NEWTON-Programms stehen nur dann zu Gebote, wenn die Zwecksetzungen verändert werden, auf die hin das NEWTON-Programm zweckrational begründet ist. Die Zwecksetzungen des NEWTON-Programms für eine technikorientierte Mechanik sind wissenschaftshistorisch betrachtet an zwei Stellen verändert, genauer: erweitert worden:

- die technikorientierte "irdische" Mechanik ist zu erweitern zu einer allgemeinen Bewegungstheorie, die der Beschreibung und Erklärung auch der natürlichen Bewegungen dient⁵⁷⁾;
- es wird ein technikorientiertes wie ein naturwissenschaftliches Wissen nicht nur über Bewegungen, sondern auch über akustische, optische, elektromagnetische und

57) Historisch gesehen war die Mechanik fast immer auch Himmelsmechanik, obwohl die faktische Entwicklung der neuzeitlichen Physik Anhaltspunkte für die normativ-kritische Genese des Physikaufbaus liefert, wonach eine irdische (Stoß-)Dynamik (GALILEI, HUYGENS, DESCARTES) erweitert wird über die Gravitationsdynamik zur Himmelsmechanik (NEWTON). Ob technisches Wissen zur Bewegungserzeugung und "naturwissenschaftliches" Wissen zur Vorausberechnung natürlicher Bewegungsabläufe in demselben methodischen Rahmen gebildet werden können, werden wir im nächsten Abschnitt zur Himmelsmechanik noch eigens diskutieren.

thermische Erscheinungen gebildet; und zwar im methodischen Anschluß an die Mechanik, so daß eine methodisch vereinheitlichte Physik aufgebaut wird, deren Teiltheorien (Mechanik, Akustik, Optik, Elektrodynamik und Thermodynamik) inhaltlich-methodisch jeweils konsistent miteinander sind⁵⁸⁾.

Den "Rückwirkungen" der im methodischen Anschluß an die Mechanik betriebenen Physik auf das NEWTON-Programm der technikorientierten klassischen Mechanik können wir hier nicht nachgehen. Nur die prinzi-

-
- 58) Die theoretische Behandlung akustischer, optischer, elektromagnetischer und thermischer Phänomene wird durch zwei methodische Schritte an die Mechanik angeschlossen: diese Phänomene werden als Bewegungsvorgänge reformuliert, wobei der Bewegungsbegriff der Mechanik erweitert wird. In der Mechanik sind Bewegungen räumliche Transporte von Massen, im erweiterten Bewegungsbegriff sind es räumliche Transporte physikalischer Größen. (Man denke etwa an elektromagnetische Wellen: der Begriff der Welle wird über den mechanischen Begriff der Schwingung definiert, also über periodische Verläufe. Bei elektromagnetischen Wellen ändern sich elektrische Feldstärken periodisch und diese periodische Änderung breitet sich räumlich aus.) Alle physikalischen Größen aber außerdem werden explizit definiert über die drei Grundgrößen der Mechanik (Länge, Dauer und Masse) und über die in der Elektrodynamik hinzukommenden Größe der elektrischen Ladung, deren Einführung den Kraftbegriff der Mechanik voraussetzt; vgl. LORENZEN 1976 c. Neben die terminologische Angliederung der weiterführenden technikorientierten Physik an die Mechanik tritt die Übernahme methodischer Anweisungen aus dem NEWTON-Programm. So wird auch für die anderen Teildisziplinen der Physik das Prinzip der linearen Superposition, entsprechend reformuliert, übernommen. Die Feldstärken der durch einzelne Ladungen erzeugten Felder etwa addieren sich zu der Feldstärke des Gesamtfeldes, das durch das System der einzelnen Punktladungen erzeugt wird. Das ist kein Ergebnis experimenteller Forschung, sondern ergibt sich schon daraus, daß die Feldstärke über Kraftwirkungen definiert und bestimmt ist, für Kräfte aber das Prinzip der linearen Superposition methodische Geltung hat.

pielle Möglichkeit einer methodisch revidierten Fortsetzung der Mechanik sei skizziert: die in der erweiterten Physik behandelten Erscheinungen und Verläufe haben selber Einfluß auf das Bewegungs- bzw. Beschleunigungsverhalten von Körpern. Das ist der Fall bei Wärmevergängen, die als Reibungswärme für die Mechanik wichtig werden, oder bei elektromagnetischen Vorgängen, wo geladene Körper in Feldern beschleunigt werden, diese Beschleunigungen sich aber nicht auf mechanische Stöße und Gravitationswirkungen zurückführen lassen. Sie müssen daher in eine einheitliche, umfassende Theorie der Bewegung miteinbezogen werden.

Zugleich werden durch diese Einbeziehung beschleunigungsrelevanter Größen die Reichweite und der Anwendungsbereich⁵⁹⁾ der klassischen Mechanik ausgedehnt: es werden etwa Geschwindigkeiten realisierbar, die beim Aufbau der Mechanik sich technisch nicht realisieren ließen. In dem erweiterten Anwendungsbereich und der erweiterten Reichweite können nun Grenzen der immer genaueren Realisierbarkeit methodischer Anweisungen des NEWTON-Programms im Rahmen der Meßgenauigkeit sichtbar werden. Solche Realisierungsschranken oder genauer: solche technisch nicht eliminierbaren Ungenauigkeiten und Abweichungen der Realisierungen von methodischen Forderungen wird man theoretisch in der einheitlichen Bewegungstheorie berücksichtigen müssen, was darauf hinausläuft, das NEWTON-Programm in bestimmten Forderungen zu modifizieren oder einzuschränken.

59) Unter der Reichweite der Mechanik verstehen wir die Zahlenintervalle, in denen für die einzelnen Meßgrößen (etwa Betrag der Geschwindigkeit oder Beschleunigung) die Werte liegen, die sich technisch realisieren lassen. Unter dem Anwendungsbereich der Mechanik sei die durch eine angebbare Eigenschaft definierte Klasse von Körpern verstanden, die sich reproduzierbar technisch so beschleunigen lassen wir dies aufgrund der Berechnungen aus den (akzeptierten) Kraftgesetzen zu erwarten ist.

Welche Teile des NEWTON-Programms dafür aber überhaupt in Frage kommen können und was man sich unter einer solchen Revision vorzustellen hat, wollen wir in den beiden nächsten Abschnitten vergleichend an Revisionen der Art a) und b) erörtern.

Die Möglichkeit einer solchen Theorieentwicklung beruht jedenfalls darauf, daß der Stand der experimentellen Technik, also dessen, was wir technisch realisieren können, nicht einseitig von der Theorie abhängt und ihrer Entwicklung "nachhinkt". Vielmehr entwickeln sich Theorie und dazu gehörige experimentelle Technik in Wechselschritten, wobei einmal die Theorie der Technik voraus ist und durch sie Verbesserungen der Technik theoretisch sich antizipieren und gemäß den theoretischen Anweisungen umsetzen lassen, dann wieder die so verbesserte Technik der Theorie Reichweiten und Anwendungsbereiche experimentell überprüfbar zugänglich macht, die bei der ursprünglichen Aufstellung der Theorie nicht zur Verfügung standen oder sogar nicht zur Verfügung stehen konnten. Die Theorie ist mindestens so technikabhängig wie die Technik theoriegestützt ist.

6.5.2.1. Zur Revidierbarkeit von Geometrie und Chronometrie (Kinematik)

Da Revisionen der Art a) in der Wissenschaftstheorie so umstritten sind, widmen wir ihnen einen gesonderten Abschnitt. Wir werden dabei darauf hinarbeiten, vier Probleme sorgfältig auseinanderzuhalten, die in der wissenschaftstheoretischen Debatte fast nie voneinander unterschieden werden. Von der Vermengung dieser Probleme aber rührt ein nicht unbeträchtlicher Teil der Verwirrung her, die die Debatte um Revisionen der Art a) belasten.

Das erste Problem betrifft den Status von Geometrie und Chronometrie. Es handelt sich um die Frage, worüber wir

in diesen beiden Disziplinen eigentlich reden. Die Antwort darauf ist in Kapitel 2 ausführlich gegeben worden: Geometrie und Chronometrie sind Formentheorien.

Als Formentheorien beantworten sie weder die Frage, ob die Körper und ihre Bewegungen "von Natur aus" solche Formen realisieren oder nicht, noch die Frage, wie wir in der Physik Längen und Dauern messen.

Physikalische Theorien sagen nichts aus über Geometrie und Chronometrie; als Formentheorien bedürfen sie keiner physikalischen Theorien, die ihnen allererst eine "Realgeltung" oder einen "empirischen Gültigkeitsnachweis" verschaffen würden. Eine physikalische Theorie kann die Geometrie und Chronometrie als Formentheorien nicht widerlegen.

Das zweite Problem entsteht über der Frage, ob zu den Vorleistungen, die im Sinne der methodisch-pragmatischen Ordnung erbracht sein müssen, damit Längen und Dauern gemessen werden können, die Geometrie und Chronometrie gehören. Es ist die Frage, philosophisch ausgedrückt, ob Geometrie und Chronometrie Teil "der Bedingungen der Möglichkeit von Längen- und Dauermessungen" sind.

Auch darauf haben wir in Kapitel 2 bereits geantwortet: nur die euklidische Geometrie und die (galileische) Chronometrie sichern und ermöglichen die von Prototypen unabhängige Reproduzierbarkeit und Eindeutigkeit der Längen- und Dauermessung. Insofern in der Physik zunächst Längen und Dauern gemessen werden, können Geometrie und Chronometrie als Prototheorien der Längen- und Dauermessung nicht widerlegt werden, es sei denn, jemand könne die von Prototypen unabhängige Reproduzierbarkeit und Eindeutigkeit anders als über die Euklidizität der Längenmeßgeräte und die Gleichförmigkeit der Uhren sicherstellen.

Das dritte Problem schließlich betrifft die Metrik von Raum und Zeit. Mathematisch betrachtet wird eine Metrik auf einer Punktmenge erzeugt durch eine Punktfunktion mit positiv reellzahligen Werten, die auf der Punktmenge definiert ist und für die gilt:

- (1) $d(x,x) = 0$
- (2) $d(x,y) > 0$, für $x \neq y$
- (3) $d(x,z) \leq d(x,y) + d(y,z)$.

Die Euklidizität der Meßgeräte für die Längenmessung induziert nun für die Stellen, Orte im "Raum" zwangsläufig die sogenannte euklidische Metrik, d.h.: sind (x_1, x_2, x_3) und (x'_1, x'_2, x'_3) die Koordinatenwerte der Ortsvektoren von zwei Stellen oder Orten S und S', dann gilt für ihren Abstand:

$$d(S, S') = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_i - x'_i)^2}$$

Daß die Euklidizität der Meßgeräte für die Längenmessung die euklidische Metrik zwangsläufig induziert, sieht man folgendermaßen ein: Seien S und S' zwei unterscheidbare Stellen im "Raum". S und S' sind also jeweils auf zwei Körpern markiert, deren Gestalt oder gar Form, falls sie überhaupt eine realisieren, unerheblich ist. Zwischen die beiden Stellen wird eine Meßlatte gelegt, wodurch die beiden Stellen durch eine Strecke miteinander verbunden sind, da ja die Meßlatte nach Voraussetzung ein "euklidischer" Körper ist, der eine Strecke hinreichend gut realisiert. Das Koordinatensystem kann man sich nun als ein kubisches Gitter vorstellen von der Art, daß S und S' gerade mit Gitterpunkten zusammenfallen. Da, wie LORENZEN bewiesen hat, für die in einem solchen kubischen Gitter liegenden rechtwinkligen Dreiecken der Satz des Pythagoras gilt, folgt aus seiner zweimaligen Anwendung gerade $\sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_i - x'_i)^2}$ als Größe der Strecke zwischen S und S'.

Von der Euklidizität des Meßgerätes wird bei dem eben vorgeführten Beweis insoweit Gebrauch gemacht, als sich nur für die geometrische Form der Strecke die Transitivität methodisch zirkelfrei sichern läßt, wie wir oben gesehen haben. Aus methodischen Gründen müssen daher zunächst Strecken, oder genauer: hinreichend gute Realisierungen von Strecken gemessen werden mit Körpern, die eine solche Form selber realisieren. Die Längen von "Bahnen" beliebiger Gestalt wird danach auf die so methodisch beginnende Längenmessung zurückgeführt. Wie das geschieht, ist bekannt: relativ zu einem Koordinatensystem gibt man eine Parameterdarstellung $r(t)$ der Bahn, die Bogenlänge $s(t)$ zwischen den Stellen $r(t_0)$ und $r(t)$ erhält man durch

$$s(t) = \int_{t_0}^t \sqrt{\dot{r}(t)^2} dt$$

Insoweit nun in der Physik, speziell in der Mechanik, Abstände zwischen Stellen im Raum gemessen werden, wird für diese Messungen die euklidische Metrik und keine andere zugrundegelegt. Und insoweit die Mechanik und die Physik überhaupt messende Wissenschaften sind, für die Längen- und Zeitmessungen am Anfang stehen, ist die euklidische Metrik (und $|t - t'|$ als die durch die Uhren induzierte Zeitmetrik) die grundlegende Metrik für die Physik.

Da eine reproduzierbare und eindeutige Längen- und Dauer-messung auf euklidischer Geometrie und galileischer Chronometrie aufbauen, kann die euklidisch-galileische Raum-Zeit-Metrik aufgrund von Messungen nicht revidiert werden.

Die bisherige Argumentation schließt freilich nur aus, daß für die Längen- und Dauermessungen eine andere als die euklidisch-galileische Raum-Zeit-Metrik verwendet werden kann. Es werden jedoch die Meßergebnisse, die DINGLERSchen "Zahlentabellen" weiter theoretisch ausge-

...stet. Man wendet auf die Meßergebnisse mathematische Theorien oder Strukturen an und berechnet dadurch weitere Werte für die physikalischen Größen. Die gemessenen und die berechneten Werte der physikalischen Größen stellen somit insgesamt ein Modell der entsprechenden mathematischen Struktur dar.

Als rein mathematische "Punktmenge", versehen mit einer mathematischen Struktur, können die Werte physikalischer Größen, will man Prognosen erstellen, in der theoretischen Analyse so behandelt werden, daß eine andere Raum-Zeit-Metrik dieser "Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit" zugrundegelegt wird. Eine solche nicht-klassische Raum-Zeit-Metrik ist aber nur eine theoretische Hilfsmetrik. Es ist eine Metrik, die für mathematische Operationen und Berechnungen innerhalb des mathematisierten Formelsystems benutzt wird, als welches sich eine mathematisierte physikalische Theorie darstellen läßt. Sobald die theoretisch berechneten Werte mit Meßdaten verglichen werden, ist für die vorzunehmenden Längen- und Dauermessungen wieder die euklidisch-galileische Raum-Zeit-Metrik in Kraft⁶⁰⁾.

Das vierte Problem, das im Kontext der Fragen einer Revidierbarkeit von Geometrie und Chronometrie auftaucht, ist die Frage, ob die Körper und ihre Bewegungen, die Gegenstand der Physik sind, ihrerseits geometrische und chrono-

60) LORENZEN interpretiert die Spezielle Relativitätstheorie gerade so, daß sich für die klassische Elektrodynamik empfiehlt, die klassisch-mechanischen Dreiervektoren ("Dreierkräfte") durch Vierervektoren zu ersetzen und für diese "vierdimensionale Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit" die LORENTZ-Metrik als theoretische Hilfsmetrik zu benutzen. Eine methodische Rekonstruktion des Übergangs von der klassischen zur relativistischen Mechanik über die Elektrodynamik muß vor allem im Detail nachweisen, warum die LORENTZ-Metrik die geeignete Hilfsmetrik ist und wie die Wahl dieser Hilfsmetrik zu

metrische Formen realisieren müssen, damit sie gemessen werden können⁶¹⁾. Es gilt aber: weder als Formentheorien noch als Prototheorien implizieren Geometrie und Chronometrie, daß die Konfigurationen "natürlicher" Körper gestaltmäßig geometrische Formen und ihre Bewegungen formentheoretisch bestimmbare Gangverhältnisse besitzen.

Im Hinblick auf die Mechanik als technikorientierter Theorie stellt sich das Problem in besonderer Weise dar: über das technische Wissen der Mechanik wollen wir gerade Bewegungsformen realisieren. Die Drehung der Antriebswelle eines Motors etwa richten wir so ein, daß die Welle auf einer Kreisbahn in einer Ebene rotiert. Da wir in der Mechanik Bewegungen planen und künstlich erzeugen, da der Gegenstandsbereich der technikorientierten Mechanik also von uns "künstlich" geschaffen wird, gelten die formentheoretischen Bestimmungen in diesem Gegenstandsbereich. Geometrie und Chronometrie gehen nicht nur als Prototheorien des Messens sondern auch als Formentheorien in die technikorientierte Mechanik ein.

Sobald wir jedoch in der Mechanik auch Körper und ihre Bewegungen studieren, die ohne unser Zutun "in der Natur so einfach vorkommen", können wir z.B. nicht so ohne weiteres von der "Euklidizität" ihrer räumlichen Gestalt und

61) BÖHME 1976, S. 227 meint, daß "konsequente" Konstruktivisten den Satz unterschreiben müßten: "Die Bedingungen der Möglichkeit des Messens sind zugleich Bedingungen der Möglichkeit der Gegenstände des Messens". Demzufolge müßten nicht nur die Meßgeräte euklidische Körper sein, sondern auch die Körper, die wir mit den euklidischen Geräten ausmessen. BÖHME gibt zu, daß sich eine solche Behauptung nicht explizit bei konstruktiven Protophysikern finden lasse. Die Konstruktivisten tun allerdings gut daran, einen solchen Satz auch nicht zu behaupten. Der Argumentation von Böhme liegt eine unklare Vorstellung über den Status von Geometrie und Chronometrie zugrunde. Er unterscheidet nicht zwischen Geometrie und Chronometrie als Formentheorien und als Prototheorien der Längen- und Dauermessungen.

der Gestalt ihrer Bahnen ausgehen. Da wir die Bahnen der Planeten nicht selber festgelegt haben, sondern uns nur auf Beobachtungen der von alleine ablaufenden Bewegungen stützen können, können wir nicht a priori unterstellen, daß sie eine geometrische Form (z.B. eine Ellipse) realisieren. Wenn wir dann doch davon ausgehen, daß die Planetenbahnen geometrisch beschreibbare Gestalt haben, dann ist das eine "idealisierende" Hypothese, die sich dadurch bewähren muß, daß, wird sie unterstellt, die aus ihr folgenden Vorausberechnungen der Orte und Stellungen der Planeten auch wirklich zutreffen, was wiederum durch Beobachtungen geprüft wird.

6.5.2.2. Zur Revidierbarkeit des klassischen Massenbegriffs

Für die Nichtrevidierbarkeit der euklidischen Geometrie und der Chronometrie haben wir zwei Gründe anzuführen:

- als Prototheorien des Messens sichern sie, daß die Längen- und Dauermessung methodisch-pragmatisch zirkelfrei in Gang kommen kann und von Prototypen unabhängig reproduzierbar und eindeutig ist;
- für die technikorientierte Mechanik kommt hinzu, daß sie als Formentheorien unmittelbar für die Konstruktion der Bewegungsformen herangezogen werden. Als Theorien, durch die der Gegenstandsbereich der technikorientierten Mechanik allererst ideativ konstituiert wird, können sie nicht aufgrund empirischer Forschungsergebnisse aufgegeben werden.

Das zweite Argument ist auf den Massenbegriff nicht übertragbar. Er wird im Kontext von Realisierungsfragen eingeführt. Dabei werden Massen gemessen, um die Beschleunigungen berechnen zu können, die sich erzielen lassen, wenn man eine Kraft (ein Beschleunigungsverfahren) auf einen Körper wirken läßt. Die Massenmessung beginnt mit irdischen Körpern und "irdischen" Geschwindigkeiten (also weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit), und bei einem solchen Anwendungsbereich und einer solchen Reichweite läßt sich das Verhältnis der Geschwin-

digkeitsdifferenzen bei Stößen hinreichend konstant halten, so daß die Massenmessung eindeutig ist. Auf der Basis dieses handwerklich-technischen Vermögens läßt sich mit dem Aufbau der Mechanik nach dem NEWTON-Programm beginnen.

Schreitet man nun in der Forschung von der klassischen Mechanik fort zur Elektrodynamik und zur elektromagnetischen Lichttheorie⁶²⁾, werden jetzt Anwendungsbereich und Reichweite der Mechanik ausgedehnt: insbesondere werden Geschwindigkeiten theoretisch und technisch-experimentell zugänglich, auf die zu Beginn des Aufbaus der Mechanik experimentell gar nicht rekurriert werden konnte.

Diese im Anwendungsbereich und ihrer Reichweite gegenüber der klassischen Mechanik erweiterte Theorie "Mechanik/Elektrodynamik" läßt eine theoretisch antizipierbare und methodisch zirkelfrei experimentell bestätigungsfähige Grenze sichtbar werden, mit der bei hohen Geschwindigkeiten der klassische Impulssatz sich noch realisieren läßt⁶³⁾.

62) Der methodische Anschluß der Elektrodynamik und elektromagnetischen Lichttheorie vollzieht sich in folgenden Schritten: der Ladungsbegriff wird über den klassischen Kraftbegriff eingeführt. Dann wird an das System der mechanischen Kraftgesetze der Kraftwirkungsterm der LORENTZ-Kraft in linearer Superposition angehängt. Dadurch entsteht eine nach dem NEWTON-Programm aufgebaute Theorie der Bewegungen ungeladener und geladener Körper. Zur Lichttheorie kommt man durch die Untersuchung elektromagnetischer Wellen.

63) Theoretisch läßt sich diese Grenze so herleiten: Um die LORENTZ-Kraft berechnen zu können, müssen elektrische und magnetische Feldstärken berechnet werden. Dazu dienen die MAXWELLSchen Gleichungen der Elektrodynamik. Wenn die MAXWELLSchen Gleichungen es nahelegen, was wir hier nicht diskutieren können, mit Viererkraftdichten und der LORENTZ-Metrik als theoretischer Hilfsmetrik zu arbeiten und entsprechend die NEWTONsche Grundgleichung mit Viererkräften zu reformulieren und ihr ebenfalls die LORENTZ-Metrik zugrunde zu legen, so wird der klassische Impulssatz so modifiziert, daß erkennbar wird, daß nur bei Geschwindigkeiten, die nahe der Lichtgeschwindigkeit die klassischen Impulse nahezu konstant sind. Das ist prinzipiell experimentell überprüfbar, ohne methodische Zirkel zu begehen, weil nur Geschwindigkeiten, aber keine Massen gemessen werden müssen.

Das ist nicht streng beweisbar aufgrund der klassischen Elektrodynamik⁶⁴⁾. Es reicht, daß diese Grenze de facto besteht und alle Versuche, sie nach den methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms theoretisch-experimentell zu beseitigen, bisher fehlgeschlagen sind, um es aus forschungspargmatischen Gründen aufzugeben, doch noch eine immer bessere Realisierung des klassischen Impulssatzes zu versuchen. Man wird daher am NEWTON-Programm die Konzeption und Prototheorie des Massenbegriffs entsprechend modifizieren⁶⁵⁾.

Dringlich wird eine solche Modifikation des NEWTON-Programms, wenn die nach seiner Konzeption und seinen Anweisungen aufgestellte Theorie zu Berechnungen von Beschleunigungen und Bahnen führt, die von den gemessenen so abweichen, daß die Möglichkeit von Meßfehlern ausgeschlossen werden kann, bzw. die der Theorie entnommenen technischen Anweisungen versagen, weil sich nach ihnen gewünschte Bewegungsformen nicht realisieren lassen.

Sinnvoll ist eine solche Modifikation des NEWTON-Programms, wenn die nach den methodischen Anweisungen des modifizierten Programms aufgestellte Theorie die Fehler der alten mechanischen Theorie beseitigt, aber die bisherige Theorie in den Anwendungsbereichen und der Reichweite im Ernst nicht antastet, wo diese bisher unbestreit-

64) Man darf die klassische Elektrodynamik und die dort gemachten Befunde nicht auffassen als logische Widerlegungen der klassischen Mechanik. Das ist deshalb unstatthaft, weil die Elektrodynamik zunächst über den Ladungsbegriff, der den klassischen Kraftbegriff voraussetzt, an die klassische Mechanik methodisch angeschlossen ist. Es kann nicht definitiv ausgeschlossen werden, daß diese Grenze im Sinne einer immer besseren Realisierung des klassischen Impulssatzes doch noch eliminiert werden und man weiter nach dem NEWTON-Programm im Theorieaufbau fortfahren kann.

65) Nach LORENTZEN besteht die Modifikation des NEWTON-Programms darin, daß statt mit Dreierkraftvektoren die NEWTONsche Grundgleichung mit Viererkräften formuliert und die LORENTZ-Metrik gewählt wird. Das impliziert eine Revision des klassischen Impulssatzes.

bar, erfolgreich war⁶⁶⁾.

Zulässig ist eine Modifikation nur, wenn auch in dem modifizierten NEWTON-Programm die Messungen weiterhin eindeutig bleiben⁶⁷⁾. Das gilt denn auch, soweit weiterhin Massen gemessen werden.

Möglich ist eine solche Modifikation des NEWTON-Programms, weil es den Teil methodischer Anweisungen betrifft, der sich auf die mit Realisierungsfragen befaßten Abschnitte der Mechanik bezieht. Hier können wir uns aber ausschließlich am Erfolg orientieren, d.h. an dem Kriterium, ob das nach bestimmten methodischen Anweisungen gebildete Wissen zu einer verlässlichen technischen Beherrschung von Bewegungsformen beiträgt. Wenn sich herausstellt, daß wir die verschiedenen Bewegungsformen besser theoretisch und dann auch technisch für einen größeren Anwendungsbereich und eine größere Reichweite als in der beschränkteren klassischen Mechanik in den Griff bekommen, wenn wir u.a. klassisch Massen messen und theoretische Berechnungen nach den Formeln der Relativitätstheorie ausführen und damit Bewegungen vorhersagen und technisch planen können, so spricht nichts methodisch dagegen, diesen Schritt zu vollziehen, da wir ja an der Zielsetzung der Theoriebildung gerade keine Abstriche machen müssen.

66) Die relativistische Mechanik zeigt bekanntlich, daß die Unterschiede zwischen der relativistischen und der klassischen Mechanik in Geschwindigkeitsbereichen weit unterhalb der Lichtgeschwindigkeit theoretisch-rechnerisch kaum zu Buche schlagen und im Rahmen technisch erforderlicher Meßgenauigkeit nicht ins Gewicht fallen.

67) Wie Längen und Dauern mißt man auch Massen in der relativistischen Mechanik klassisch. Das klassische Massenmeßverfahren, daran ändert die relativistische Mechanik nichts, ist für einen bestimmten Anwendungsbe- reich mit einer bestimmten Reichweite anwendbar (wenn Massen über Stöße gemessen werden). Damit werden erste Werte für Massen gemessen, die daraufhin in die Formeln der relativistischen Mechanik eingesetzt werden, nach denen mit ihnen weiter gerechnet wird. Die Veränderungen

6.6. Das methodische Verhältnis der technikorientierten Mechanik zur Himmelsmechanik

NEWTON genießt unter Wissenschaftshistorikern, Wissenschaftstheoretikern und Physikern selber gemeinhin den Ruf, der mit GALILEI, HUYGENS und DESCARTES beginnenden neuzeitlichen Mechanik und Physik eine mustergültige axiomatische Fassung und damit eine "Begründung" im analytischen Wissenschaftsverhältnis gegeben und darüber hinaus mit dem Gravitationsgesetz ein entscheidendes Kraftgesetz der Mechanik und Physik aufgestellt zu haben. Obwohl wir selber die methodische Begründung der klassischen Mechanik nach NEWTON benannt haben, ist die Bedeutung von NEWTON für eine methodische Grundlegung der klassischen Mechanik eher zu relativieren. Kurz: NEWTONs Leistung muß vor allem darin gesehen werden, daß er die Himmelsmechanik begründet hat. Die Himmelsmechanik aber ist Teil der Naturwissenschaften im strengen Sinne, wie wir dies gerade am Beispiel der Planetenbewegungen schon mehrfach erläutert haben⁶⁸⁾.

Am Paradigma der Erklärung der KEPLERschen Gesetze für die Planetenbahnen aus dem Gravitationsgesetz ist nun weitgehend das Selbstverständnis der Physiker orientiert:

der klassischen durch die relativistische Mechanik haben insgesamt den Status theoretisch-rechnerischer Korrekturen, die bei der theoretischen Auswertung und Analyse klassisch gemessener Werte angebracht werden, um letztlich Bewegungen von Körpern zutreffend vorherzusagen und hinreichend technisch zu beherrschen.

- 68) MITTELSTRASS 1970, S. 301 schreibt: "Wer im Hinblick, darauf, daß NEWTONs Werk in weit größerem Maße noch als Galileis Werk zur Grundlage der klassischen Mechanik wird, klare methodologische Unterscheidungen, Hinweise auf den Aufbau einer physikalischen Theorie und genaue Anweisungen zu protophysikalischen und experimentellen Begründungsverfahren erwartet, wird enttäuscht. In methodischen Dingen ist Galilei weit überzeugender als Newton, weshalb im übrigen auch der Newton-Enthusiasmus der Zeitgenossen dort, wo er

die Mechanik ist vor allem Naturwissenschaft, sie dient der Beschreibung, Erklärung und Vorhersage von Naturvorgängen. Weiter begründet die Orientierung der Physiker an der Himmelsmechanik den kosmologischen Trend, der im Selbstverständnis so vieler Physiker anzutreffen ist. Fragen über "das Universum", "die Endlichkeit oder Unendlichkeit der Welt" beschäftigen die Physiker, womit sie das säkularisierte Erbe traditionell theologisch-religiös gefärbter Kosmologien antreten, wobei die theologisch-religiösen Momente durchaus nicht gänzlich verschwinden. Der mit "höheren Weihen" ausgestattete Blick "nach den Sternen" verdrängt im Selbstverständnis der Physiker das "profane Geschäft", sich um die "irdischen Maschinen" kümmern zu müssen. Hierin liegen wohl auch die Wurzeln dafür, daß die Physiker sich gegen eine technikorientierte Rekonstruktion der Mechanik und Physik so stark wehren.

Dabei geht ja die Himmelsmechanik durchaus nicht verloren, wenn man die klassische Mechanik im Sinne einer technikermöglichenden Theorie rekonstruiert. Das sieht man ein, wenn man sich dem methodischen Verhältnis zwischen einer technikorientierten "irdischen" Mechanik und der Himmelsmechanik zuwendet und es analysiert.

Im Gegensatz zur Himmelsmechanik liegen bei der technikorientierten Mechanik die folgenden Eigenheiten vor:

sich auf Newtons vermeintliche methodische Klarheit zu berufen sucht, in Wahrheit schlecht beraten ist." LORENZEN 1960, S. 137 meint: "Für NEWTON selbst - und auch für die Wirkung seiner "Principia mathematica philosophiae naturalis" (1687) - ist weniger die systematische Dynamik als die Gravitationstheorie mit ihrer Erklärung der Planetenbewegung und der Gezeiten entscheidend gewesen."

- zu jedem einzelnen Kraftgesetz $m \ddot{r}(t) = k(r(t), \dot{r}(t), t)$ gehört ein entsprechendes Beschleunigungsverfahren: es werden Geräte benutzt und bestimmte technische Handlungen an Körpern ausgeführt;
- über eine Abfolge von technischen Handlungsausführungen können wir die Wirkungen der einzelnen Beschleunigungsverfahren gegeneinander isolieren;
- wir wenden Beschleunigungsverfahren auf Körper an und erzeugen so allererst Bewegungen. Die Kraftgesetze dienen einerseits dazu, anzugeben, welche metrisch beschriebenen Ausgangsbedingungen u.a. herzustellen sind, wird ein Beschleunigungsverfahren angewendet, andererseits dazu, die zu erzielenden Beschleunigungen vorauszuberechnen bzw. über die Integration der Kraftgesetze die Bahnen (Bahnfunktionen) vorherzubestimmen.

Gehen wir zur Himmelsmechanik über, so liegt eine andere Situation vor. Die Bewegungen der Himmelskörper sind Naturvorgänge, die wir technisch nicht beherrschen, nicht beeinflussen können. Ziel der Himmelsmechanik kann es deshalb auch nicht sein, Bewegungen von Himmelskörpern zu erzeugen oder zu verändern. Vielmehr ist das Ziel allein, die Orte und Stellungen der Himmelskörper zueinander beschreiben und vorhersagen (erklären) zu können. Dafür gibt es Gründe: z.B. die Kalenderberechnung oder die Vorhersage von Springfluten.

Warum kann trotzdem die Himmelsmechanik nach den methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms betrieben werden? Selbst wenn man nicht daran interessiert sein kann, Beschleunigungen hervorrufen zu wollen, sondern nur noch Bahnen von natürlichen Bewegungen vorherbestimmen möchte, ist das über den methodischen Ansatz von Kraftgesetzen möglich: die Integration einer Differentialgleichung $m \ddot{r}(t) = k(r(t), \dot{r}(t), t)$ führt bei vorgegebenen $r(t_0)$ und $\dot{r}(t_0)$ für ein festes t_0 zu einer eindeutigen Bahnfunktion $r(t)$.

Allerdings müssen an die Kraftgesetze der Himmelsmechanik nicht die technikorientierten methodischen Forderungen gestellt werden, die für die "irdische" Mechanik unverzichtbar sind:

- zu einem Kraftgesetz der Himmelsmechanik muß es nicht unbedingt ein technisch verfügbares Beschleunigungsverfahren geben; es reicht hin, wenn sie sich als Berechnungsformeln bewähren, aus denen sich beobachtbare astronomische Sachverhalte berechnen lassen auf der Basis anderer, durch Beobachtungen festgestellter astronomischer Daten⁶⁹⁾.

Damit ist bisher gezeigt; von der Form der Verlaufsgesetze her können die technischen Probleme der technikorientierten Mechanik wie die astronomischen Fragestellungen der Himmelsmechanik auf dieselbe Weise theoretisch-rechnerisch behandelt werden. Technikorientierte Mechanik und Himmelsmechanik sind methodisch miteinander verträglich.

Wir haben die allgemeinen Gründe dafür dargelegt, warum prinzipiell die technikorientierte Mechanik und die Himmelsmechanik miteinander methodisch verträglich sind. Nun wollen wir noch genauer skizzieren, wie die Himmelsmechanik nach den methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms in die technikorientierte "irdische" Mechanik integriert werden kann.

Das grundlegende Kraftgesetz der Himmelsmechanik ist das NEWTONsche Gravitationsgesetz. Es wird nach dem Prinzip der linearen Superposition an die Kraftwirkungsterme der

69) Man kann das berühmte NEWTONsche "Hypotheses non fingo" auch so lesen: wie eine Kraft $m \ddot{r}(t) = k(r(t), \dot{r}(t), t)$ technisch erzeugt werden kann (was also im Sinne der Ausführung technischer Handlungen und der Herstellung operativer Arrangements zu tun ist, um Körper der entsprechenden Kraftwirkung "hinauszuwerfen"). Ist für die Himmelsmechanik nicht weiter von Belang. Es langt das Kraftgesetz als Rechenausdruck, um die Bahnen der Himmelskörper vorherbestimmen zu können.

technikorientierten Mechanik additiv angehängt. Das wäre auch dann noch ohne weiteres zulässig, wenn das Gravitationsgesetz nur auf himmelsmechanische Probleme angewendet werden würde. Tatsächlich ist es aber sogar ein technikorientiertes Verlaufsgesetz, was wir im folgenden zeigen werden.

Wir wollen Körper, so hatten wir oben schon ausgeführt, auf eine solche Weise in Bewegung setzen, daß wir nur gewisse, dazu erforderliche Ausgangsbedingungen selber herstellen, woraufhin sich der Körper ohne weiteres begleitendes Handeln von unserer Seite in vorgeschriebener Weise fortbewegt. Nachdem die Ausgangsbedingungen herbeigeführt sind, bewegt sich der Körper alleine, so wie sich die Himmelskörper ohne unser Zutun bewegen.

Ein für den Zusammenhang mit der Himmelsmechanik wichtiges Verfahren, Körper zu beschleunigen, ist, sie frei fallen zu lassen. Der Fall und davon abgeleitet auch der Wurf sind ganz elementare technisch einfach zu realisierende und zu reproduzierende Bewegungsanstöße. Für die technikorientierte Mechanik, der es letztlich auf handhabbare Körper ankommt, ist die Schwere der Körper, rekonstruiert als die Kraft, mit der sie von der Erde angezogen werden, ein wichtiger beschleunigender Einfluß, dem Körper unterliegen und der für die technische Realisierung von Bewegungsformen selber technisch beherrscht werden muß.

Das Fallgesetz nun ist keine Antwort auf die Frage, wie Körper "wirklich" frei fallen. Der Fall und der Wurf in der klassischen Mechanik, das kann man hier sehr gut demonstrieren, sind Beschleunigungsverfahren, die technisch-apparativ konstruierte Arrangements darstellen und die nicht einfach natürliche Fallbewegungen, etwa den berühmten Fall eines Apfels vom Baum nur wiederholen.

Fall und Wurf als technisch-apparative Beschleunigungsverfahren gehen ganz direkt zurück auf das Problem, eine Bewegungsform zu realisieren: beim Fall bzw. der Fallbewegung auf der schiefen Ebene steht das Problem an, eine geradlinige, gleichförmig beschleunigte Bewegung zu realisieren. Ist a die konstante Beschleunigung, so folgt deduktiv aus der Definition der geradlinigen gleichförmig beschleunigten Bewegung als Bewegungsform für den zurückgelegten Weg $s(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit

$$s(t) = \frac{at^2}{2} + c_1 t + c_2 t.$$

Man kann jetzt fragen, ob eine geradlinige, gleichförmig beschleunigte Bewegung schon dadurch hinreichend gut realisiert wird, daß man einen Körper hochhebt und losläßt. Erst einmal folgt, daß für einen Anfangszeitpunkt t_0 , wenn der Körper nämlich hochgehoben und gerade losgelassen wird, $s(t_0) = 0$ und $\dot{s}(t_0) = 0$, woraus folgt c_1 und c_2 sind beide 0. Realisiert also der freie Fall eine geradlinig, gleichförmig beschleunigte Bewegung, so lautet das Gesetz über die Zeitabhängigkeit des zurückgelegten Weges in diesem Falle

$$s(t) = \frac{at^2}{2}.$$

In der Tat läßt sich das Fallgesetz mit einer gewissen Klasse von Körpern (man darf z.B. nicht gerade Papierschnitzel nehmen, sondern z.B. kleine Eisenkugeln) schon hinreichend gut realisieren. Durch diese Beschleunigungsexperimente wird insbesondere die Beschleunigungskonstante a als Erdbeschleunigung g bestimmt. Aber man stellt auch sofort fest, daß nicht alle Körper, hebt man sie hoch und läßt sie daraufhin los, eine Bewegung ausführen, die dem Fallgesetz genügt. Sie realisieren keine geradlinige, gleichförmig beschleunigte Bewegung.

Diese experimentellen Befunde nimmt trotzdem nicht zum Anlaß, das Fallgesetz

$$s(t) = \frac{1}{2} g t^2$$

zu verwerfen, was nur konsequent wäre, wollte man ein universelles Gesetz darüber aufstellen, wie Körper "wirklich" fallen. Statt dessen werden die methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms befolgt und jetzt weitere beschleunigende Einflüsse gesucht, die man bei Fallvorgängen isolieren muß: es sind Luftwiderstand, Reibung und Auftrieb.

Technisch werden Fallvorgänge von solchen störenden Überlagerungen isoliert, indem man etwa in abgeschlossenen Gefäßen ein Vakuum erzeugt und die Körper darin frei fallen läßt. Solche apparativen Vorrichtungen zusammen mit den erforderlichen technischen Handlungen bilden das technische Beschleunigungsverfahren "freier Fall", über das in der technikorientierten Mechanik geradlinig, gleichförmig beschleunigte Bewegungen u.a. realisiert werden können. Das Fallgesetz gilt nur, wenn dieses technisch-apparative Beschleunigungsverfahren angewendet wird. In diesem Sinne ist es nicht das Verlaufsgesetz der Fallvorgänge, die sich "in der Natur" ereignen.

Mit der Ausschaltung beschleunigender Einflüsse bei Fallvorgängen ist man noch nicht ganz am Ende, geht man von den methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms aus: man stellt nämlich weiter fest, daß die konstante Beschleunigung g auf der Erde in Abhängigkeit vom Ort variiert. Nach dem NEWTON-Programm sollen aber für das Beschleunigungsverfahren des freien Falls nicht verschiedene, mit Ortsindizes versehene Kraftgesetze aufgestellt werden, sondern die Beschleunigungen, die aus einem freien Fall resultieren, sollen sich aus einem Kraftgesetz berechnen lassen. Dieses Kraftgesetz muß jedenfalls den Ort $r(t)$ als "unabhängige" Variable, als Argument im Kraftwirkungsterm enthalten.

Das NEWTONsche Gravitationsgesetz ist ein dafür geeignetes Kraftgesetz, denn die ortsabhängigen "irdischen" Fallgesetze

sind im Rahmen technisch sinnvoller Meßgenauigkeiten hinreichende approximative Spezialisierungen des allgemeinen Gravitationsgesetzes⁷⁰⁾.

Daß das Gravitationsgesetz historisch im Hinblick auf die himmelsmechanischen Probleme (Herleitung der KEPLERschen Gesetze) aufgestellt worden ist und sich für diese Aufgabe vorzüglich bewährt hat, ändert nichts daran, daß man es, wie eben gezeigt, als technikorientiertes Verlaufsgesetz rekonstruieren und damit unmittelbar der technikorientierten Mechanik eingliedern kann. Wir wollten nicht die historischen Gründe wiederholen, die die Aufstellung des Gravitationsgesetzes faktisch orientiert haben mögen, sondern nachweisen, daß, nimmt man das Gravitationsgesetz zu den Kraftgesetzen der technikorientierten "irdischen" Mechanik hinzu, dies noch nicht aus dem durch das NEWTON-Programm gesteckten methodischen Kontext technikorientierter Wissensbildung herausführt.

Für den methodischen Zusammenhang von technikorientierter Mechanik und Himmelsmechanik ist ein letztes zu bedenken: Wir hatten oben gesagt, daß sich die technikorientierte klassische Mechanik als Theorie der "irdischen" Maschinen glänzend bewährt hat und eigentlich im Rahmen der ihr zunächst zugrundeliegenden beschränkten Fragestellungen kein zwingender Grund bis auf den heutigen Tag besteht, sie zu verwerfen. Das werden Physiker so nicht akzeptieren. Sie werden u.a. sicher darauf verweisen, daß die klassische Mechanik, die sie hier als allgemeine Naturwissenschaft begreifen, die astronomisch beobachtete Perihelbewegung des Merkur nicht erklären konnte. Unterstellt wird dabei,

70) Neben dem Fall, verstanden als technisches Beschleunigungsverfahren, ist auch das CAVENDISH-Experiment ein technisches Arrangement, relativ zu dem das Gravitationsgesetz den Status eines technikorientierten Verlaufsgesetzes und nicht einfach den eines reinen Naturgesetzes erhält.

daß die Diskrepanz zwischen beobachteter Perihelbewegung und theoretisch berechneten Voraussagen die klassische Mechanik betrifft.

Genau hier aber machen sich m.E. doch die unterschiedlichen Zwecksetzungen von technikorientierter Mechanik und Himmelsmechanik geltend: technische Bewegungserzeugungen auf der einen Seite, Beschreibung und Voraussage von nicht beeinflussbaren Naturbewegungen auf der anderen Seite, aber nun nicht im Sinne eines methodischen Problems, sondern im Sinne einer forschungspragmatischen und forschungspolitischen Entscheidungssituation. Es ist das Problem, ob wir die technikorientierte Mechanik, die sich beim Bau irdischer Maschinen sehr gut bewährt, deshalb revidieren sollen, weil bestimmte himmelsmechanische Beobachtungen nicht mit dieser Theorie erklärt werden können, oder ob wir die Theoriebildung jetzt doch verzweigen, so daß wir für Probleme, wie wir technisch Bewegungen hervorrufen können, bis auf weiteres mit der "irdischen" Mechanik weiterarbeiten und für die Lösung himmelsmechanischer Probleme, soweit wir sie überhaupt für belangvoll erachten, unabhängig eine eigenständige Himmelsmechanik entwickeln. Diese Himmelsmechanik ist eine reine Naturwissenschaft, die sich durch ihre Voraussage- und Erklärungsleistungen allein bewähren muß⁷¹⁾.

71) Es ist letztlich die Frage aufzuwerfen, wie wichtig wir eigentlich die himmelsmechanische "Anomalie" (KUHN) der Perihelbewegung des Merkurs nehmen sollen. Bei einer technikorientierten Rekonstruktion der klassischen Mechanik wird jedenfalls das wissenschaftshistorische Faktum verständlich, daß die Abweichungen der theoretischen Voraussagen von den Beobachtungen der Perihelbewegung des Merkur, obwohl lange bekannt, offensichtlich kein hinreichend starkes Argument für eine Revision der klassischen Mechanik an die Hand lieferten. Erst als elektrische und magnetische Erscheinungen, die ja auch für die technischen Bewegungsprobleme relevant sind, systematisch in die physikalische Theoriebildung miteinbezogen wurden, hielt man eine Revision der klassischen Mechanik für un-

Kapitel 7: DIE KLASSISCHE MECHANIK IN DER SICHT DER ANALYTISCHEN WISSENSCHAFTSTHEORIE

Nach der systematischen Rekonstruktion des NEWTON-Programms und der klassischen Mechanik wollen wir uns im letzten Abschnitt nochmals mit der analytischen Wissenschaftstheorie auseinandersetzen und in einigen Aspekten kritisch betrachten, wie die Analytiker die klassische Mechanik wissenschaftstheoretisch darstellen.

7.1. Neuere Wandlungen des Theoriebegriffs der analytischen Wissenschaftstheorie und die klassische Mechanik als Theorie

Bis zu SNEED, auf den wir gleich kommen werden, verstand und versteht man in der analytischen Wissenschaftstheorie unter einer Theorie ein System von gesetzesartigen Aussagen, wobei dieses System durch logische Ableitbarkeitsbeziehungen strukturiert gedacht wird. Dieses Verständnis von Theorie haben wir bereits kritisch geprüft an der klassischen Mechanik. Und wir haben gesehen, daß viel entscheidender als logische Ableitbarkeitsbeziehungen zwischen Sätzen, die aus endlich vielen Axiomen folgen, für die klassische Mechanik der im Prinzip der formalen Superposition gestiftete Zusammenhang zwischen den einzelnen Kraftgesetzen ist. Daß die Kraftgesetze in formaler Superposition zueinander stehen, ist auch gerade für die Frage wichtig, nach welchen methodischen Normen wir eine physikalische Theorie verwerfen oder akzeptieren. Insofern ist der traditionelle Theoriebegriff nicht besonders erhellend; in welchem Sinne die verschiedenen Kraftgesetze der klassischen Mechanik zu einem System, eben zu einer Theorie zusammengefügt werden, läßt sich viel genauer sagen, wenn man sich vom traditionellen Theoriebegriff freimacht, der fälschlicherweise die logische Deduktion als theoriekonstituierendes Moment überbetont.

In jüngster Zeit nun sind Analytiker selber nicht mehr recht zufrieden mit diesem Theoriebegriff. Es sind vor allem SNEED und dann STEGMÜLLER, der SNEED getreu rezipiert und sich seinen Standpunkt zu eigen gemacht hat, die den traditionellen "statement-view" ersetzt wissen wollen¹⁾. Untersucht man die Gründe für diese Neufassung des Theoriebegriffs, so stößt man m.E. auf die folgenden vier Gesichtspunkte:

a) Der traditionelle Theoriebegriff, wonach Theorien Systeme von Sätzen sind, trägt zu wenig dem Umstand Rechnung, daß zumindest physikalische Theorien Systeme mathematischer Funktionsgleichungen darstellen und die Meßwerte wie die errechneten Werte für die verschiedenen Meßgrößen als Elemente einer mit bestimmten mathematischen Strukturen (Metrik, Punktfunktionen usw.) versehenen Menge behandelt werden können²⁾.

b) Der traditionelle Theoriebegriff ist unangemessen, weil er nicht erlaubt, hinreichend klar zwischen einer Theorie und ihren verschiedenen Anwendungen zu unterscheiden.

c) der traditionelle Theoriebegriff läßt nach neuem analytischen Verständnis nicht zu, die besondere Stellung und Funktion theoretischer Begriffe innerhalb der Theorie systematisch richtig zu fixieren und klarzulegen.

d) Der traditionelle Theoriebegriff paßt nicht mehr zu der "theoriendynamischen Wende" der analytischen Wissenschaftstheorie, durch die die Akzeptierungs- und Verwerfungsproblematik nun ganz anders aufgefaßt wird als dies in der Verifizierungs- und Bestätigungskonzeption des

1) Vgl. SNEED 1971 und STEGMÜLLER 1973a, Kap. VIII und IX.

2) STRUIK 1967, S. 202 sagt, daß es manchmal so scheint, "als ob mathematische Physik und Theorie der linearen partiellen Differentialgleichungen ein und dasselbe wären".

Logischen Empirismus und im Falsifikationskonzept des Kritischen Rationalismus in der Tradition der POPPERschen "Logik der Forschung" der Fall gewesen ist.

Wir werden nacheinander die vier Gründe diskutieren. Die Gründe a) und b) behandeln wird dabei in diesem Abschnitt, den Grund c) im nächsten Abschnitt über das SNEEDsche Theoretizitätskriterium und den Massenbegriff und den Grund d) im Abschnitt über Bewährung, Falsifikation und Exhaustion.

ad a): Wie misslich es ist, zu vergessen, daß physikalische Verlaufsgesetze die Form von mathematischen Funktionsgleichungen haben, ist uns schon aufgefallen, als wir die Diskussion um die Gesetzesartigkeit von Aussagen kritisch kommentiert haben. Insofern ist es zu begrüßen, wenn jetzt in der analytischen Wissenschaftstheorie von Anfang an bei der logischen Rekonstruktion der Physik von dieser besonderen Form physikalischer Verlaufsgesetze ausgegangen wird.

Es geht genauer darum, ob mit dem traditionellen Verständnis von Theorie der Systemzusammenhang der zu einer "Theorie" gehörenden Funktionsgleichungen richtig erfaßt wird. SNEED und mit ihm STEGMÜLLER sind der Auffassung, daß dieser Zusammenhang im Sinne einer mathematischen Struktur zu fassen ist.

Eine mathematische Struktur wird dabei im Sinne der auf HILBERT zurückgehenden Strukturmathematik mit formalistischer Mengenlehre als Grundlage bestimmt. SNEED und STEGMÜLLER übernehmen nicht nur den Strukturbegriff der Strukturmathematik, sondern passen auch die Auffassung von der Axiomatisierung einer Theorie dem strukturmathematischen Ansatz an. Demzufolge ist die Axiomatisierung einer Theorie die "Einführung eines mengentheoretischen Prädikats". Als Beispiel denke man an die strukturmathematische Definition

einer Gruppe. Hat man "Gruppe" auf die bekannte Weise definiert, so kann man die Menge aller Gegenstände, "Entitäten" bilden, die das Definiens der strukturmatischen Definition von "Gruppe" erfüllen; das ist mit anderen Worten die Menge aller Modelle der "Struktur Gruppe".

Jede "richtige" Anwendung der Theorie ist ein Element aus der Menge der Modelle.

Der Kern, SNEED und STEGMÜLLER nennen es "Strukturkern", einer physikalischen Theorie umfaßt eine solche mathematische Struktur. Um nicht in die sehr aufwendigen mengentheoretisch-formalistischen Begriffsbildungen von SNEED und STEGMÜLLER einsteigen zu müssen, was sich, wie wir noch sehen, gar nicht besonders lohnt, beschränken wir uns hier auf das Wesentliche, und das ist ohne großen formalistischen Aufwand darstellbar. Wir betrachten zu diesem Zweck nur die SNEEDsche Rekonstruktion der klassischen Partikelmechanik im Sinne der "Einführung eines mengentheoretischen Prädikats". Es wird das mengentheoretische Prädikat "ist eine klassische Partikelmechanik" definiert. Die Definition lautet:

Def.: x ist eine klassische Partikelmechanik nach Definition genau dann, wenn es P, T, s, m, f gibt, so daß gilt:

- (1) $x = \langle P, T, s, m, f \rangle$
- (2) P ist eine endliche, nicht leere Menge;
- (3) T ist ein Intervall von reellen Zahlen;
- (4) s ist eine Funktion mit dem kartesischen Produkt von P und T als Argumentbereich in den $\mathbb{R}^3$. s ist im offenen Teilintervall von T zweimal stetig differenzierbar;
- (5) m ist eine Funktion von P in $\mathbb{R}$, wobei $m(u) > 0$ für alle $u \in P$;
- (6) f ist eine Funktion mit dem Kreuzprodukt von P , T und $\mathbb{N}$ als Argumentbereich in $\mathbb{R}^3$, und für alle $u \in P$ und alle $t \in T$ ist $\sum_{i \in \mathbb{N}} f(u, t, i)$ absolut konvergent;

(7) für alle $u \in P$ und alle $t \in T$ gilt:

$$m(u) D^2 s(u, t) = \sum_{i \in \mathbb{N}} f(u, t, i). \quad 3)$$

Die Definition ist schnell erläutert: (2) P ist ein Anwendungsbereich, also eine Klasse von Körpern bzw. Punktkörpern ("Partikeln"); (3) T ist ein Zeitintervall; (4) $s(u, t)$ mit $u \in P$ und $t \in T$ ist die zweimal stetig nach der Zeit differenzierbare Bahnfunktion des Körpers u ; (5) $m(u)$ für $u \in P$ ist die Masse des Körpers u ; (6) $f(u, t, i)$ ist die i -te zum Zeitpunkt t auf den Körper u wirkende Kraft, die Konvergenzforderung ist eine mathematisch-axiomatische Reformulierung des Prinzips der linearen Superposition; (7) ist eine axiomatische Fassung des NEWTONschen Kraftgesetzes.

Es läßt sich nun unschwer erkennen, daß die Definition das in mengentheoretisch-axiomatischer Redeweise wieder-gibt, was sich aufgrund des NEWTON-Programms, also des Systems methodischer Anweisungen für die Theoriebildung in der Mechanik vor jeder empirischen Forschung über die Form⁴⁾ und den Zusammenhang der mechanischen Verlaufsgesetze sagen läßt, daß sich nämlich eine mechanische Theorie, die nach dem NEWTON-Programm zustandegekommen ist, durch die Grundgleichung

$$m \ddot{r}(t) = \sum_{i \in \mathbb{N}} k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$$

darstellen läßt. Dieser Umstand führt uns auch sofort auf die Kritik dieser strukturmathematischen Reformulierung des NEWTON-Programms.

3) Die Definition ist eine nur unwesentlich abgewandelte Zusammenfassung der Definitionen D2 und D3 bei STEGMÜLLER 1973a, S.109/110. Das entspricht den Definitionen D7 und D8 bei SNEED 1971, S. 114/115. Man kann sich auf den deutschen Text von STEGMÜLLER stützen, da er SNEED bis in die Notation hinein folgt.

4) Der Ausdruck "Form", hier bezogen auf sprachliche Gebilde, wird gebraucht im Sinne der Rekonstruktion von KAM-BARTEL 1976, S. 122ff.

Erstens ist an der mengentheoretischen Definition zu kritisieren, daß es genau genommen keinen Sinn macht, eine solche Definition hinzuzuschreiben, wenn man nicht zugleich mindestens ein "Modell" für die Struktur "klassische Partikelmechanik" dazu konstruiert, um einmal bei der mengentheoretischen Redeweise zu bleiben. Hierzu muß man nicht nur einen Anwendungsbereich angeben, worauf wir zurückkommen werden, sondern es müssen die darstellenden Terme der "drei Funktionen s, m und f " explizit konstruiert werden, und zwar im Sinne der konstruktiven Mathematik. Nun sind aber s, m und f Meßgrößen der klassischen Mechanik, so daß, bevor man mit ihnen innerhalb theoretisch deduktiver Argumentationsgänge als "bloßen" Funktionen mathematisch operieren kann, erst einmal die operativen Meßverfahren explizit anzugeben sind. Dann sieht man sofort weiter, daß relativ zu einem festen Bezugssystem es für alle Anwendungen auf der Basis von Längen- und Dauermessungen nur eine Bahnfunktion für einen Punktkörper und nur einen Wert für die Masse einer "Partikel" gibt.

Durch die mengentheoretische Definition der klassischen Mechanik jedoch wird suggeriert, als ob es ganz verschiedene Funktionen s, m und f geben könne, die jeweils ein "Modell der Struktur 'klassische Partikelmechanik'" liefern, während dies aufgrund der Eindeutigkeit der Längen-, Zeit- und Massenmessung ausgeschlossen ist. Die mengentheoretische Definition ist unangemessen, sobald man nicht die Protophysik und insbesondere die Prototheorien der metrischen Begriffe "Länge", "Zeit" und "Masse" einfach unter den Tisch fallen läßt.

Zweitens hat man mit der Definition "ist eine klassische Partikelmechanik" in Wahrheit nur die Form und den methodischen Zusammenhang der Verlaufsgesetze einer "klassischen Partikelmechanik" bestimmt, nicht aber "eine klassische Partikelmechanik", denn über die Kraftwirkungsterme $k_-(r(t), \dot{r}(t), t)$ ist ja noch gar nichts weiter gesagt.

Es ist insbesondere irreführend, das Prinzip der linearen Superposition und das zweite NEWTONsche Kraftgesetz als axiomatische Behauptungen aufzufassen statt als methodische Anweisungen oder Normen der Theoriebildung. Daß mit dem NEWTON-Programm neben der operativen Einführung der drei mechanischen Grundgrößen Länge, Dauer und Masse nur die Form und der methodische Zusammenhang mechanischer Verlaufsgesetze festgelegt sind, wird bei SNEED und STEGMÜLLER dadurch verunklart, daß sie nun spezielle Kraftgesetze wie das Gravitationsgesetz oder das HOOKSche Gesetz als zusätzliche Axiome neben dem NEWTONschen Kraftgesetz, oder in ihrer mengentheoretischen Redeweise ausgedrückt, durch weitere axiomatische Verschärfung des Grundprädikats "ist eine klassische Partikelmechanik" bestimmen. Richtiger aber ist zu sagen: erst mit speziellen Kraftgesetzen, d.h. mit explizit konstruierten, darstellenden Termen $k_1(r(t), \dot{r}(t), t)$ für Kraftfunktionen, die die im NEWTON-Programm geforderte Form $m \ddot{r}(t) = k_1(r(t), \dot{r}(t), t)$ erfüllen und wieder nach der Forderung des NEWTON-Programms in linearer Superposition zueinander stehen, haben wir allererst "eine klassische Partikelmechanik" vor uns.

Drittens hat eine mengentheoretische Definition "ist eine klassische Partikelmechanik" nur dann einen Sinn, wenn es tatsächlich aus prinzipiellen methodischen Gründen überhaupt verschiedene Partikelmechaniken geben kann. Nun kann es in der Tat nach dem NEWTON-Programm verschiedene Systeme von Kraftgesetzen geben, die jeweils zu einer Mechanik, d.h. zu einer Verwirklichung des NEWTON-Programms nach dem Prinzip der linearen Superposition zusammengefaßt werden können. Welches System wir wählen, ist noch nicht durch das NEWTON-Programm entschieden und richtet sich nach dem Stand unseres technisch-experimentellen Könnens, verschiedene Beschleunigungsverfahren technisch zu beherrschen und gegenseitig voneinander zu isolieren, was mit dem Aufbau der Mechanik als Theorie Hand in Hand geht.

Daß die Möglichkeit verschiedener Partikelmechaniken allein dadurch gegeben ist, daß nach Maßgabe unseres technisch-experimentellen Könnens und in Abhängigkeit davon verschiedene Kräfte unterschieden und als Beschleunigungsverfahren technisch beherrschbar werden, durch deren jeweilige Anwendung dann dieselben Bewegungsformen realisierbar werden, wird durch die mengentheoretische Struktur "klassische Partikelmechanik" nicht mehr deutlich; denn einerseits wird so getan, als ob es verschiedene Partikelmechaniken u.a. deshalb geben könne, weil Partikelmechaniken sich gerade durch die Bahnfunktionen und "Massenfunktionen" unterscheiden, was nicht stimmt, andererseits werden die methodischen Gründe, warum sich Partikelmechaniken in den Kraftfunktionen unterscheiden können, gerade an der mengentheoretischen Definition der Struktur "klassische Partikelmechanik" gar nicht kenntlich gemacht.

Fassen wir zusammen: die Verwirklichung des NEWTON-Programms führt auf eine Theorie, die eine mathematische Struktur besitzt. Diese Struktur besteht im wesentlichen darin, daß die mechanische Theorie durch die Grundgleichung

$$m \ddot{\mathbf{r}}(t) = \sum_{i=1}^n \mathbf{k}_i(\mathbf{r}(t), \dot{\mathbf{r}}(t), t)$$

dargestellt wird und die Funktionen $\mathbf{r}(t)$, ihre erste und zweite Ableitung nach der Zeit und die Kraftfunktionen Funktionen in den $\mathbb{R}^3$ sind, der hier ein mit der euklidischen Metrik versehener Vektorraum ist. Mit der Grundgleichung

$$m \ddot{\mathbf{r}}(t) = \sum_{i=1}^n \mathbf{k}_i(\mathbf{r}(t), \dot{\mathbf{r}}(t), t)$$

kann nach den Regeln der (konstruktiven) Vektoranalysis bzw. Differentialgeometrie operiert werden.

Die "mathematischen Strukturen" der Vektoranalysis und Differentialgeometrie werden für die klassische Mechanik "methodisch-apriorisch induziert" durch das NEWTON-Programm, sie stehen also bereits fest, bevor die empirische

Forschung im eigentlichen Sinne anfängt. Dieser methodische Sachverhalt wird von SNEED und STEGMÜLLER eher erahnt als adäquat zum Ausdruck gebracht, wenn sie einen "Strukturkern" für die klassische Mechanik mengentheoretisch definieren.

Trotz eines überaus aufwendigen mengentheoretischen Formalismus verfehlen sie den besonderen methodisch-apriorischen Status der formalen mathematischen Strukturen der klassischen Partikelmechanik. Dem traditionellen Theoriebegriff nach ist eine Theorie ein System von Sätzen, die gemäß dem Empirismus der analytischen Wissenschaftstheorie alle gleichermaßen empirisch sind. Jetzt begreift man auch in der analytischen Wissenschaftstheorie, daß physikalische Theorien "interpretierte" mathematische Formelsysteme sind und die darin involvierten mathematischen Strukturen keineswegs so unmittelbar empirischen Charakter haben, wie dies oft angenommen wird. Aber man zieht nicht die Konsequenz daraus, daß am Beginn der empirischen Theoriebildung die Einführung erster Grundbegriffe, apriorischer Grundsätze und methodischer Anweisungen stehen, was die konstruktiv orientierte Wissenschaftstheorie schon immer hervorgehoben hat.

ad b): STEGMÜLLER meint, man müsse "sich von der fiktiven Annahme befreien, als habe eine physikalische Theorie nur eine einzige (sozusagen 'kosmische') Anwendung. Fast jede derartige Theorie hat verschiedene intendierte Anwendungen, die klassische Partikelmechanik z.B. unter anderem die folgenden: das Sonnensystem; gewisse Teilsysteme davon (...); die Gezeiten; die Pendel usw."⁵⁾

Die Mechanik in einem bestimmten Bereich anzuwenden bedeutet, daß die Bewegungen (Bahnen) der Körper aus dem Anwen-

5) STEGMÜLLER 1974, S. 178

dungsbereich aufgrund des Systems der Kraftgesetze in formaler Superposition erklärt und vorausberechnet werden. Will man stärker den Aspekt der Technikorientierung herausheben, so bedeutet die Anwendung der Mechanik auf einen bestimmten Bereich, daß die Körper aus diesem Bereich nach den technisch verfügbaren Beschleunigungsverfahren auf die durch die Kraftgesetze vorausberechenbare Weise beschleunigt werden.

Daß dieselbe Theorie in verschiedenen Bereichen angewendet wird, ist nach STEGMÜLLER und SNEED durch zweierlei gewährleistet: erstens gilt bei allen Anwendungen das zweite NEWTONsche Gesetz, das "Fundamentalgesetz der Theorie", wodurch die mathematische Struktur der Theorie bestimmt ist. Diese mathematische Struktur bleibt bei allen Anwendungen dieselbe⁶⁾.

Da für jeden Anwendungsbereich jedoch spezielle Kraftgesetze jeweils gelten, könnte man glauben, es lägen de facto doch so viele verschiedene Theorien vor, wie es unterscheidbare Anwendungsbereiche für die Mechanik gäbe. Das dem nicht so ist, beruht für SNEED und STEGMÜLLER darauf, daß sogenannte Nebenbedingungen für die metrischen Begriffe ("theoretische Funktionen") einen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Anwendungen herstellen⁷⁾.

Eine von STEGMÜLLER und SNEED besonders betonte Nebenbedingung für die Mechanik ist, daß Körper, die in verschiedenen Anwendungen vorkommen, dabei jeweils dieselbe Masse

6) Vgl. STEGMÜLLER 1973a, S. 77ff und STEGMÜLLER 1974, S. 179

7) Für die genaue Definition der Nebenbedingungen als "einschränkende Querverbindungen zwischen den intendierten Anwendungen einer Theorie" vgl. STEGMÜLLER 1974, S. 81 - 87 und SNEED 1971, Chapter IV, besonders Definition D4 S. 71f.

zugesprochen bekommen⁸⁾. Diese Feststellung von STEGMÜLLER und SNEED ist sicher zutreffend. Daß die Masse eine nur den Körpern zukommende Größe ist, die nicht vom Anwendungskontext abhängt, in dem sie sich gerade befinden, folgt aus der methodischen Konzipierung des klassischen Massenbegriffs, wie er dem NEWTON-Programm zugrundeliegt. Wir haben das ausführlich erörtert.

Die Behauptung jedoch, in allen Anwendungen gelte das zweite NEWTONsche Gesetz, läßt sich in dieser Formulierung nicht aufrechterhalten und ist mehr als irreführend. Das sogenannte NEWTONsche Gesetz ist eine methodische Anweisung, die sich auf die Form der aufzustellenden Verlaufsgesetze in der Mechanik bezieht, und eben selber kein Verlaufsgesetz, das in allen Anwendungen "gilt" und durch spezielle Kraftgesetze ergänzt wird.

Was SNEED und STEGMÜLLER mengentheoretisch/modelltheoretisch meinen nur fassen zu können, läßt sich m.E. viel einfacher und überzeugender darstellen: das für die theoretische Erklärung und die technische Beherrschung relevante Wissen wird für verschiedene Anwendungsbereiche nach dem einen Programm methodischer Anweisungen für die Theoriebildung, nach dem NEWTON-Programm gebildet. Es entsteht so eine Theorie, die sich durch die Grundgleichung

$$m \ddot{r}(t) = \sum_{i=1}^n k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$$

darstellen läßt. Die verschiedenen Anwendungen unterscheiden sich dadurch, daß jeweils andere k_i gleich 0 gesetzt werden können, weil diese Kräfte für das jeweilige "mechanische System" nicht berücksichtigt werden müssen.

8) "Eine solche Nebenbedingung besagt, daß ein und dasselbe in verschiedenen Anwendungen vorkommende Objekt jedesmal denselben Funktionswert zugeteilt erhält. (So z.B. hat der Planet Erde dieselbe Masse, gleichgültig, ob Element des Sonnensystems oder als Element des Systems Erde-Mond betrachtet wird.)"; STEGMÜLLER 1974, S. 178f.

7.2. "Masse" als theoretischer Begriff

Das Problem der theoretischen Begriffe war für die analytische Wissenschaftstheorie dadurch entstanden, daß sich wichtige Begriffe der vorliegenden und allgemein anerkannten Theorien nicht auf der Basis der herkömmlichen Definitionslehre über "beobachtungssprachliche" Begriffe definieren lassen. Das Kriterium für die Theoretizität eines Begriffs ist daher erst einmal negativ festgelegt als Nicht-Definierbarkeit im Rahmen der "Beobachtungssprache".

Die Diskussion um theoretische Begriffe erhielt einen neuen Akzent, als man nachweisen konnte, daß sich theoretische Begriffe prinzipiell aus einer Theorie wieder eliminieren lassen (RAMSEY-Satz), ohne dabei "empirischen Gehalt" einzubüßen. Sind theoretische Begriffe also prinzipiell eliminierbar, so stellt sich die Frage, warum Theorien doch mit theoretischen Begriffen formuliert werden, welche Funktion den theoretischen Begriffen innerhalb einer Theorie zukommt. Die Fragestellung nach der Funktion theoretischer Begriffe aber läßt das negative Theoretizitätskriterium unbefriedigend werden; um die Funktion theoretischer Begriffe klären zu können, muß klar sein, in welchem Sinne die "Einführung" theoretischer Begriffe den Kontext einer ganzen Theorie voraussetzt und in Anspruch nehmen muß. SNEED hat ein neues Theoretizitätskriterium entwickelt, das für die Klärung der Frage, welche Funktion theoretische Begriffe haben, angemessener zu sein scheint als das alte negative Kriterium.

Kurz gefaßt lautet das Theoretizitätskriterium, das SNEED von vornherein für metrische Begriffe⁹⁾ formuliert: "Sie (nämlich die theoretischen Begriffe, H.T.) werden in jeder solchen Anwendung in theorieabhängiger Weise gemes-

⁹⁾ SNEED und STEGMÜLLER reden statt von metrischen Begriffen immer von "Funktionen". Wir haben in Kapitel 3 dargestellt, warum wir uns diesem Sprachgebrauch nicht anschließen werden.

sen. Eine theorieabhängige Messung einer Größe liegt dann vor, wenn die Ermittlung der Werte dieser Größe auf der Voraussetzung beruht, daß eine erfolgreiche Anwendung eben derjenigen Theorie, in welcher diese Größe vorkommt, existiert¹⁰⁾.

Wir diskutieren das SNEEDsche Theoretizitätskriterium so-
gleich im Hinblick auf die Mechanik¹¹⁾. Nach SNEED sind

-
- 10) STEGMÜLLER 1974, S. 176. Die ausführliche Definition des Theoretizitätskriteriums umfaßt bei SNEED die beiden folgenden Definitionen: "(C) The function n is measured in a θ -dependent way (θ ist eine Theorie, H.T.), if and only if there is some individual $x \in D_1$ (D_1 ist der i -te Anwendungsbereich der Theorie, H.T.) such that the existing exposition of application i of theory θ contains no description of a method of measuring $n_i(x)$ which does not presuppose that some application of θ is successful; n_i is measured in a θ -independent way if and only if it is not measured in a θ -dependent way."; SNEED 1971, S. 31. "(D) The function n is theoretical with respect to θ if and only if there is no application i of θ in which n_i is θ -independent; n is non-theoretical with respect to θ if and only if there at least one application i of θ in which n_i is θ -independent."; SNEED 1971, S. 33. Vgl. auch STEGMÜLLER 1973a, S. 50f.
- 11) Der Zusammenhang des SNEEDschen Theoretizitätskriteriums zu dem alten, negativen ist leicht ersichtlich: nach dem alten Kriterium setzt die Einführung eines theoretischen metrischen Begriffs den Kontext eines (theoretischen) Formelsystems voraus. Das wird durch SNEED dahingehend präzisiert, daß die Möglichkeit, Werte für die theoretische Meßgröße in einer bestimmten Anwendung messend zu ermitteln, die erfolgreiche Anwendung eben dieser Theorie in einer anderen Anwendung voraussetzt. Der entscheidende Unterschied zum alten Theoretizitätskriterium ist der, daß die Einteilung des Begriffsvokabulars einer Theorie in "beobachtungssprachliche" und theoretische Bestandteile nicht vor Aufbau der Theorie auch auf Konventionen beruht, sondern aufgrund der Analyse der zugelassenen Meßverfahren "deskriptiv" festgestellt werden kann. - Daß die SNEEDsche Auffassung theoretischer Größen nicht vereinbar ist mit den methodischen Prinzipien einer sorgfältigen Begriffseinführung, liegt auf der Hand. Wie SNEED selber sieht, impliziert der Status theoretischer Größen in seinem Sinne bei der Bestimmung der Werte für diese Größen einen Zirkel oder einen Regressus ad infinitum. Durch den Rückgriff auf einen modifizierten RAMSEY-Satz versucht SNEED mit dieser Schwierigkeit fertig zu werden.

nämlich der Massen- und der Kraftbegriff theoretische Größen in seinem Sinne¹²⁾. Zur Begründung dieser Auffassung des Massen- und des Kraftbegriffs führt SNEED an: "All means of measuring forces, known to me, appear to rest, in a quite straight-forward way, on the assumption that Newton's second law is true in some physical system, and indeed also on the assumption that some particular force law holds"¹³⁾.

Für den Massenbegriff denkt SNEED an eine Waage, mit der das Massenverhältnis von zwei Körpern gemessen wird, und von diesem Massenmeßverfahren behauptet er dann: "When we claim that an analytical balance determines mass-ratios accurately. we are claiming, at least, that there is a way of regarding this physical system as a model for CPM (Classical Particle Mechanics, H.T.)"¹⁴⁾.

Wir können uns in den folgenden Überlegungen zu SNEED auf den Massenbegriff beschränken, weil nach der in dieser Arbeit vorgetragenen systematischen Argumentation "Kraft" explizit definiert werden sollte und von daher, wenn überhaupt, das SNEEDsche Theoretizitätskriterium allenfalls noch für den Massenbegriff in Frage kommt.

Was SNEED behauptet, ist, nochmals reformuliert, folgendes: wenn für den Anwendungsbereich A_1 die Massen der dazu gehörenden Körper über das Massenmeßverfahren MV bestimmt werden sollen, so "impliziert" die Anwendung von MV die Gültigkeit der klassischen Partikelmechanik für einen anderen Anwendungsbereich A_2 . Daß in A_2 die klassische Par-

12) "In der Newtonschen Fassung der klassischen Partikelmechanik sind z.B. die beiden Funktionen Kraft und Masse, aber auch nur diese beiden, theoretische Größen im Sinne dieses Kriteriums."; STEGMÜLLER 1974, S. 176.

13) SNEED 1971, S. 117

14) a.a.O.

tikelmekanik gilt, besagt im wesentlichen, daß das zweite NEWTONsche Axiom $m \ddot{r}(t) = k_2(r(t), \dot{r}(t), t)$ mit einer festen Kraftfunktion k_2 erfüllt ist.

Massen können, so hatten wir oben gezeigt, über Stöße oder JANICHsche Seilwaagen gemessen werden. Es reicht hin, daß diese Massenmeßverfahren für einen bestimmten "irdischen" Anwendungsbereich technisch verfügbar sind, sich also insbesondere die Kriterien erfüllen lassen, die nach der obigen systematischen Argumentation von einem Massenmeßverfahren erfüllt sein müssen.

Von der Konzeption des Massen- und des Kraftbegriffs her läßt sich noch weiter sagen: Stoß wie Zug mit der Seilwaage sind Beschleunigungsverfahren, von denen dann weitere im Zuge der Theoriebildung nach dem NEWTON-Programm theoretisch analysiert und technisch verfügbar gemacht werden. Es wirken also Kräfte auf die zu messenden Körper. Sie stellen zusammen mit den Meßgeräten ein mechanisches System dar. Aber: diese Kräfte kann und muß man nicht bestimmen (weder experimentell-messend noch theoretisch-rechnerisch), um die genannten Verfahren für die Massenmessung anwenden zu können.

Ganz unklar bleibt, wieso die Anwendung von Stößen oder der Seilwaage, um Massen zu messen, die Gültigkeit der klassischen Partikelmekanik für das "System" (Seilwaage, die beiden hinsichtlich ihres Massenverhältnisses zu vergleichenden Körper) "implizieren"¹⁵⁾ (to rest on the

15) Das Wort "implizieren" benutzt STEGMÜLLER in seiner Übertragung der Definition (C) von SNEED: "Die konkrete Funktion f_i , welche in der i -ten Anwendung T_i der Theorie T vorkommt wird in einer T -abhängigen Weise gemessen gdw es ein $x_0 \in D_i \cap D_i(f_i)$ gibt, so daß in jeder existierenden Darstellung von T_i die Beschreibung der Methode zur Ermittlung des Wertes $f_i(x_0)$ so gemacht ist, daß aus den Sätzen, welche eine Spezialisierung dieser Methode zur Gewinnung von $f_i(x_0)$ darstellen, ein Satz logisch gefolgt werden kann, der für ein j den Satz $c_j \in S$ L-impliziert, wobei S die mathematische Struktur der Theorie T ist."; STEGMÜLLER 1973a, S. 51. Vgl. auch STEGMÜLLERs Bemerkungen zum Gebrauch der Rede von "Voraussetzung"; STEGMÜLLER 1973a, S. 61 - 63.

assumption, to claim) soll. Sicher implizieren logisch die jeweiligen Beschreibungen der beiden Verfahren (existierende Darstellung der Theorie", "exposition") weder das NEWTONsche Kraftgesetz noch ein spezielles Kraftgesetz. Das erstere schon deshalb nicht, weil das sogenannte NEWTONsche Kraftgesetz kein Verlaufsgesetz ist, sondern eine methodische Anweisung für die Theoriebildung, und daher die Redeweise bereits inadäquat ist, das NEWTONsche Gesetz würde in einen Anwendungsbereich gelten.

Auch muß man nicht, um die Massenmeßverfahren überhaupt technisch handhaben zu können, als explizites Wissen die klassische Partikelmechanik als ein System von Kraftgesetzen für einen bestimmten Anwendungsbereich akzeptiert haben. Bei der methodischen Analyse eines geeigneten Massenmeßverfahrens konnte gerade gezeigt werden, daß man Bewegungsanstöße konstant bei der Anwendung auf zwei Körper halten kann, ohne dabei die Konstanz von Kräften bereits technisch kontrollieren und theoretisch erfassen zu müssen. Die Massenmessung ist nicht abhängig von einem Wissen über Kräfte und beruht in ihrer technischen Realisierbarkeit nicht darauf, daß man bereits Kraftgesetze aufgestellt und akzeptiert hat.

Die Auffassung, daß die Massenmessung das Wissen voraussetzt, daß das mechanische System bestehend aus den beiden hinsichtlich ihres Massenverhältnisses zu vergleichenden Körpern und dem Meßgerät (Waage) "ein Modell der klassischen Partikelmechanik darstellt, in welchem die Kraftfunktion eine bestimmte Gestalt besitzt"¹⁶⁾, rührt m.E. her von der allgemein akzeptierten methodischen Norm, jedes mechanische System müsse physikalisch erklärt werden. Eine physikalische Erklärung ist dabei die Herleitung des Bewegungsverhaltens der Körper des mechanischen Systems aus gegebenen Anfangsbedingungen nach den akzeptierten

16) STEGMÜLLER 1973, S. 110 (im Original kursiv)

mechanischen Kraftgesetzen.

Eine solche generelle Erklärungsnorm ist aber mit Gründen nicht vertretbar. Für die Massenmessung reicht es hin, daß ein geeignetes Beschleunigungsverfahren für einen sinnvollen, ersten Anwendungsbereich technisch verfügbar ist. Von der Technik, Körper geeignet für das Ziel des Massenvergleichs beschleunigen zu können, ist die physikalische Theoriebildung ebenso abhängig wie sie bereits auf eine gelungene und immer wieder gelingende Technik der räumlichen Gestalterzeugung angewiesen ist. Da die physikalische Theoriebildung nach dem NEWTON-Programm im Sinne der pragmatisch-methodischen Ordnung die Verfügung über solche Techniken schon voraussetzen muß, ist es sinnlos, sie nachträglich aufgrund der physikalischen Theorie erklären zu wollen.

Sinnlos ist dies nach einem pragmatisch orientierten Verständnis von Erklärungen, da eine physikalische Erklärung des zu ersten Massenmessungen herangezogenen Beschleunigungsverfahrens dieses nicht verbessern helfen könnte, denn die physikalische Theorie ist gerade so zuverlässig wie dies die Techniken sind, auf denen sie basiert.

Wir haben im Abschnitt über den Massenbegriff ausgeführt, daß nicht alle Massen über das Massenmeßverfahren gemessen werden (können), über das der Massenbegriff ursprünglich "operational definiert" wird. Die Theoriebildung schreitet vielmehr so voran, daß für einen ersten Anwendungsbereich die Massen der zu ihm gehörenden Körper über das "definierende" Massenmeßverfahren gemessen werden. Daraufhin können auch erste Kräfte gemessen und entsprechende Kraftgesetze aufgestellt werden. Solche Kraftgesetze werden dann "hypothetisch" für einen erweiterten oder neuen Anwendungsbereich als gültig unterstellt und zur Massenbestimmung herangezogen: es wird aufgrund bekannter Kräfte und Bewegungen die Masse aus den Kraftgesetzen berechnet;

die Masse wird bestimmt über ein Beschleunigungsverfahren, das im Zuge der empirischen Theorienentwicklung verfügbar gemacht wurde und dessen Kraftgesetz bekannt ist.

Worauf es hier aber letztlich nur ankommt, ist der Umstand, daß die Massenmessung und damit die Theoriebildung der Mechanik nach dem NEWTON-Programm in einem ersten Bereich aufgenommen werden kann, ohne bereits schon wieder ein Wissen, das gleichfalls nach dem NEWTON-Programm gebildet ist, voraussetzen und in Anspruch nehmen zu müssen.

Daher tritt das Dilemma gar nicht auf, in einen Zirkel oder in einen infiniten Regreß zu geraten, mit dem das SNEEDsche Theoretizitätskriterium zunächst einmal belastet ist. "Eine theoretische Funktion birgt die Gefahr einer Paradoxie in sich. Bei der Berechnung ihrer Werte wird man auf anderweitige erfolgreiche Anwendungen dieser Theorie zurückverwiesen. Um die Behauptung zu überprüfen, daß die andere Anwendung der Theorie erfolgreich war, muß man wiederum Werte dieser Funktion berechnen, wobei man abermals auf eine erfolgreiche Anwendung der Theorie zurückverwiesen wird usw."¹⁷⁾

Da weder der Massenbegriff noch der Kraftbegriff der klassischen Mechanik theoretische Größen im Sinne SNEEDs sind, ist auch die Lösung hinfällig, auf die SNEED zurückgreifen muß, um die "mögliche Gefahr einer Paradoxie theoretischer Funktionen" zu bannen. Die Lösung sieht vor, die empirischen Behauptungen einer Theorie¹⁸⁾ durch ihren modi-

17) STEGMÜLLER 1974, S. 177

18) Zu den empirischen Behauptungen einer Theorie T gehören alle logischen Implikate von T, die ohne Verwendung theoretischer Begriffe formuliert werden können. Unterstellen wir einmal, daß der Massen- und der Kraftbegriff theoretische Begriffe sind, so sind die empirischen Behauptungen der klassischen Mechanik alle Folgerungen über Bahnen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Körpern.

fizierten RAMSEY-Satz¹⁹⁾ wiederzugeben.

7.3. Zur Problematik von Akzeptierungs- und Verwerfungsregeln und das NEWTON-Programm

Aus welchen Gründen wir eine Theorie akzeptieren oder verwerfen²⁰⁾, diese Frage zählt zu den zentralen Problematiken

19) Kommen in einer Theorie $T(m_1, \dots, m_n)$ die n theoretischen Begriffe m_1 bis m_n vor, so ist der RAMSEY-Satz der Theorie die Behauptung $\bigvee x_1 \dots \bigvee x_n. T(x_1, \dots, x_n)$, in der alle "deskriptiven Konstanten" beobachtungssprachliche Begriffe sind. Es läßt sich zeigen, daß jedes beobachtungssprachliche Implikat von $T(m_1, \dots, m_n)$ auch aus dem RAMSEY-Satz der Theorie gefolgert werden kann und umgekehrt. Hinsichtlich der Erklärung und Voraussage "beobachtbarer Sachverhalte" leisten die mit theoretischen Begriffen formulierte Theorie und ihr RAMSEY-Satz dasselbe; zum RAMSEY-Satz und seine Bedeutung für theoretische Begriffe vgl. STEGMÜLLER 1970, Kapitel VII.

SNEED modifiziert entsprechend seiner modelltheoretischen Theoriekonzeption den RAMSEY-Satz. Er heißt dann: "Es existiert eine theoretische Ergänzung x von a , welches Modell von S ist."; STEGMÜLLER 1974, S. 178. a ist ein Modell der Struktur, die übrigbleibt, wenn man in der zur Theorie T gehörenden Struktur S alle theoretischen Funktionen herausstreicht. Fügt man zu a die vorher eliminierten theoretischen Funktionen hinzu, entsteht eine theoretische Ergänzung von a . (Die SNEEDsche Version des RAMSEY-Satzes ist noch komplizierter als hier angegeben, da in ihr die verschiedenen Anwendungen einer Theorie, die den theoretischen Funktionen auferlegten Nebenbedingungen und die zu jeder Anwendung gehörenden Verschärfungen der Struktur S mit erfaßt werden); vgl. SNEED 1971, Chapter III und IV sowie STEGMÜLLER 1973a, S. 63 - 106.

20) Wir gehen in der folgenden Argumentation von vornherein davon aus, daß nicht isolierte, einzelne Verlaufsgesetze, sondern stets Systeme von Verlaufsgesetzen (Theorien) akzeptiert oder verworfen werden. Für die klassische Mechanik haben wir dies bereits als "DUHEM-QUINEsche Holismusthese" begründet.

der Wissenschaftstheorie²¹⁾. Viele wissenschaftstheoretische Untersuchungen sind dem Bemühen gewidmet, Regeln für die Akzeptierung bzw. Verwerfung von Theorien aufzustellen. Solche Akzeptierungs- und Verwerfungsregeln sind bedingte Aufforderungen der Form: wenn für die Theorie das und das gilt, dann akzeptiere (bzw. verwerfe) T! ($A(T) \rightarrow ! T \notin \text{akzeptieren (verwerfen)}$). Eine Theorie zu akzeptieren, bedeutet, sich in der Konzipierung der weiteren Forschung und bei der Planung des technischen Handelns an den aus der Theorie folgenden Voraussagen zu orientieren.

Die wissenschaftstheoretischen Untersuchungen zu Akzeptierungs- und Verwerfungsregeln kreisen um die Frage, welches die relevanten Situationsmerkmale $A(T)$ hinsichtlich der Theorie T sind, relativ zu denen dazu aufgefordert wird bzw. werden soll, eine Theorie zu akzeptieren oder zu verwerfen. Wir wollen im folgenden drei Antworten auf diese Frage durchdiskutieren und sie mit der hier vorgetragenen systematischer Rekonstruktion des NEWTON-Programms konfrontieren.

Wir beginnen mit der Antwort, die der Logische Empirismus gegeben hat. Die Antwort des Logischen Empirismus auf unsere Frage lautet kurz: Akzeptiere gut bestätigte Theorien!; Bei alternativen Theorien ist der Theorie mit dem höchsten Bestätigungsgrad der Vorzug zu geben!.

Die wissenschaftstheoretische Forschung ist hier auf die Frage konzentriert, wie ein geeigneter Bestätigungsbegriff zu definieren sei. Der leitende Grundgedanke dabei ist der, daß eine Theorie T jeweils durch einen singulären Satz E, der experimentelle Befunde beschreibt, bestätigt wird. "Bestätigung" ist eine Relation zwischen T und E, die formal-

21) Nach LAKATOS 1974, S. 272 ist eine Methodologie ("Forschungslogik") im wesentlich eindeutig charakterisiert durch Regeln für die Annahme oder Verwerfung von Theorien.

logisch-syntaktisch definiert wird²²⁾. Wie die Definitionsvorschläge im einzelnen lauten, braucht uns hier nicht zu interessieren. Für den weiteren Gang der systematischen Argumentation können wir uns mit der Feststellung begnügen, daß E die Theorie T nur dann bestätigt, wenn T logisch verträglich mit E ist.

Bezogen auf die Mechanik ist T die Grundgleichung

$$m \ddot{r}(t) = \sum_{i=1}^n k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$$

und E sind die Ergebnisse von Orts-, Dauer-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Massenmessungen.

Wir haben nun in Kapitel 6 für die technikorientierte Mechanik gezeigt:

- A) Die Minimalforderung eines sinnvollen Bestätigungsbegriffs, nämlich die Verträglichkeit zwischen T und E ist angesichts der zu einem bestimmten Forschungsstand verfügbaren, endlich vielen Meßdaten durch geeignete Formulierung von T (Wahl geeigneter reell-analytischer Kraftfunktionen) leicht erfüllbar;
- B) Die logische Verträglichkeit und damit die aus einer logisch-syntaktischen Verschärfung der logischen Verträglichkeit gewonnene "Bestätigung" sind keine unmittelbar forschungsleitenden Ziele.

22) Eine gute Darstellung und Übersicht über die Bestätigungstheorien gibt LENZEN 1974. Für die quantitativen Bestätigungstheorien (Theorien des Bestätigungsgrades) siehe auch CARNAP/STEGMÜLLER 1959 und ESSLER 1970. Die Bestätigungsbegriffe werden unterschieden nach deduktiven und induktiven Bestätigungsbegriffen. Deduktive Bestätigungsbegriffe werden so definiert, daß im Definiens nur Begriffe der (deduktiven) formalen Logik benutzt werden. Induktive Bestätigungsbegriffe werden über Begriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie definiert. Deduktiven wie induktiven Bestätigungsbegriffen ist jedoch gemeinsam die Minimalforderung, daß die Theorie T und der bestätigende Satz E logisch verträglich miteinander sein müssen, d.h. T darf E nicht widersprechen.

Aus A) und B) ist m.E. ungeachtet der Unterschiede der vorgeschlagenen Bestätigungsbegriffe nur die folgende Konsequenz zu ziehen: Die Bestätigungstheorien können keinen sinnvollen Beitrag leisten zur Akzeptierungs- und Verwerfungsproblematik. Normen, durch die die Akzeptierung und Verwerfung einer Theorie ausschließlich davon abhängig gemacht werden, ob oder in welchem Grade die Theorie durch experimentelle Befunde bestätigt ist, sind nicht sinnvoll²³⁾.

-
- 23) Die hier auf der Grundlage einer auf das NEWTON-Programm rekurrierenden Argumentation basierende Zurückweisung der Bestätigungstheorien erhält, zumindest was die quantitativen Bestätigungstheorien oder die sogenannten induktiven Logiken anbelangt, eine Begräftigung durch die Analytiker selber. Es ist nämlich ein beweisbares Theorem der induktiven Logik, daß die "Wahrscheinlichkeit" oder der Bestätigungsgrad einer generellen "Hypothese" relativ zu endlichen "Beobachtungsergebnissen" stets 0 ist; vgl. dazu etwa ESSLER 1970, S. 217ff.. Die quantitativen Bestätigungstheorien liefern also keine Argumente dafür, wann wir eine Theorie (ein System genereller Hypothesen) annehmen oder verwerfen sollen. STEGMÜLLER schlägt u.a. deshalb vor, den CARNAPschen Ansatz einer induktiven Logik nicht mehr zu interpretieren als "deskriptive" Theorie des Bestätigungsgrades oder der Wahrscheinlichkeit von Sätzen, sondern als "normative" Theorie des rationalen Handelns unter Risikobedingungen; vgl. STEGMÜLLER 1971. Desillusionierend ist auch die Bemerkung von POPPER über seine Versuche, "Grade der Wahrheitsähnlichkeit", "Maße für Wahrheits- und Falschheitsgehalt" zu definieren. Dies Unternehmen ist durchaus vergleichbar mit den übrigen Bestätigungstheorien. POPPER schreibt: "Ich glaube nicht, daß Grade der Wahrheitsähnlichkeit, Maße für Wahrheits- oder Falschheitsgehalt (oder auch für den Bewährungsgrad, ja die logische Wahrscheinlichkeit) jemals zahlenmäßig festgelegt werden können, außer in Grenzfällen (wie 0 oder 1)"; POPPER 1974, S. 72.

Theorien dürfen (jedenfalls auf "lange Sicht", siehe weiter unten) nicht in Widerspruch stehen zu anerkannten, unabhängigen und reproduzierbaren Meßdaten. Das anerkennen POPPER und mit ihm der Kritische Rationalismus. Aus dem für sie aber offenkundigen Scheitern der Bestätigungstheorien folgern sie: es sind wissenschaftstheoretisch keine "positiven" Akzeptierungsregeln aufzustellen, sondern eine Verwerfungsregel und eine "negative" Akzeptierungsregel: "Eine falsifizierte Theorie ist zu verwerfen!" und "Akzeptiere vorläufig nur solche Theorien, die bisher noch nicht falsifiziert wurden!". Dazu kommt eine Forschungsanweisung: "Versuche, Theorien zu falsifizieren!".

Die Geschichte des Kritischen Rationalismus ist die Geschichte der Ausarbeitung und Veränderung der Konzeption von Falsifikation, die zwingend die Verwerfung einer Theorie nachsichzieht²⁴⁾.

Die strengste Form des Falsifikationismus vertritt POPPER in der "Logik der Forschung"²⁵⁾. Nach dieser Konzeption wird eine Theorie durch anerkannte Basissätze²⁶⁾ falsifiziert. Ein Basissatz B falsifiziert eine Theorie T, wenn

24) Eine Geschichte der kontroversen Fortentwicklung der POPPERschen Philosophie innerhalb des sogenannten Kritischen Rationalismus gibt SPINNER 1974, S. 200ff.. Eine mehr systematisch orientierte Diskussion verschiedener Varianten des Falsifikationismus liefert LAKATOS 1974a, S. 89ff..

25) POPPER 1969

26) Da die generellen Sätze der Theorie die logische Form von generellen Subjunktionen haben nach der Auffassung POPPERs, müssen auch die eine Theorie falsifizierenden Basissätze eine bestimmte logische Form haben: es handelt sich bei ihnen um singuläre Es-gibt-Sätze der Art "An der Raum-Zeit-Stelle k gibt es das und das"; vgl. POPPER 1969, S. 66 - 69. Geht man davon aus, daß ein Verlaufsgesetz eine Funktionsgleichung $m = f(m')$ zwischen Meßgrößen m und m' ist, so wird das Verlaufsgesetz falsifiziert durch ein Paar (m_0, m'_0) gemessener Werte für die Größen m und m' , wobei $m_0 \neq f(m'_0)$.

7B aus T logisch folgt. Falsifizierte Theorien sollen verworfen werden²⁷⁾.

Demgegenüber sieht das NEWTON-Programm für die klassische Mechanik (das ist ein System von Kraftgesetzen in linearer Superposition) den Aufschub einer Verwerfung trotz abweichender experimenteller Befunde vor. Abweichungen der theoretischen Vorausberechnungen von den erzielten Meßwerten werden als Störungen interpretiert. Diese Störungen sucht man ihrerseits als Kräfte technisch und theoretisch zu beherrschen, so daß die theoretisch berechnete und die tatsächlich erzielte Beschleunigung von Körpern wieder übereinstimmen. Das haben wir genauer in Kapitel 6 im Abschnitt über das Prinzip der linearen Superposition dargestellt.

POPPERS entscheidendes Argument gegen einen solchen Verwerfungsaufschub und die Exhaustion als theoriebildendes Verfahren besagt: Exhaustionen einer Theorie führen zu empirischen Gehaltminderungen²⁸⁾. Nach POPPER aber ist als

-
- 27) In einer Kritik des Falsifikationismus der POPPERSchen "Logik der Forschung" hat E. STRÖKER aufgewiesen, daß genaugenommen nicht ein singulärer, falsifizierender Basissatz schon die Verwerfung der Theorie rechtfertigen kann, sondern wiederum nur ein genereller Satz, der im Widerspruch zur in Frage stehenden Theorie steht und der durch Basissätze gestützt oder bestätigt wird. Damit ist entgegen dem POPPERSchen Programm auch durch den Falsifikationismus das Bestätigungsproblem ("Problem der Induktion") nicht völlig eliminiert; vgl. STRÖKER 1968, besonders S. 502 - 504.
- 28) Unter dem empirischen Gehalt einer Theorie versteht POPPER in der "Logik der Forschung" die Klasse aller Basissätze, die die Theorie falsifizieren, also die Klasse aller potentiellen Falsifikatoren der Theorie; vgl. POPPER 1969, S. 77ff. . Warum Exhaustionen zu Minderungen des empirischen Gehalts führen, kann man sich grob so verdeutlichen: $\bigwedge x. S(x) \rightarrow S'(x)$. sei ein falsifiziertes Verlaufsgesetz. Nach POPPER wird bei einer Exhaustion nun $\bigwedge x. S(x) \wedge \exists x. S'(x)$ behauptet. Der empirische Gehalt des ersten Gesetzes ist (grob gesprochen) die Klasse aller Sätze der Form $S(N) \wedge \neg S'(N)$, der der Exhaustionsbehauptung die Klasse aller Sätze der Form $S(N) \wedge B(N) \wedge \neg S'(N)$. Die letztere Satzklasse ist aber eine Teilklasse der ersteren und daher ist nach dem POPPERSchen Vergleichskriterium der empirische Gehalt des exhaustierten Gesetzes geringer als der empirische Gehalt der ursprünglichen Gesetzesaussage.

forschungsleitendes Ziel anzustreben, den empirischen Gehalt unserer Theorien ständig zu erhöhen²⁹⁾.

Den empirischen Gehalt einer Theorie zu erhöhen, ist aber im Ernst ein viel zu formal bestimmtes Kriterium für die Ausrichtung unserer Wissensbildung, denken wir wieder an die technikorientierte Mechanik. Dort soll ein Wissen darüber gebildet werden, wie für einen möglichst großen Anwendungsbereich beliebig komplizierte Bewegungsformen störungsfrei realisiert werden können. Dazu wird man gerade so viele Kräfte unterscheiden und technisch beherrschen, d.h. also gerade so viele Anfangsgrößen berücksichtigen und gegebenenfalls technisch manipulieren, wie nötig sind, damit die störungsfreie Realisierung von Bewegungsformen gelingt.

Nach der Auffassung POPPERs sind Verlaufsgesetze generelle Subjunktionen der Form $\bigwedge x. S_1(x) \rightarrow S_2(x)$. Ein solches Verlaufsgesetz wird strengen Falsifizierungsversuchen ausgesetzt. Hält es denen nicht stand, wird es durch ein gehaltvolleres Gesetz $\bigwedge x. S_1'(x) \rightarrow S_2'(x)$ ersetzt. Der Irrtum, Gehaltverschärfung (im Sinne POPPERs) als forschungsleitendes Ziel zu formulieren, besteht darin, daß die im Sukzedenz auftretende Situation vom Typ $S_2(x)$ nicht beliebig in der Wissensbildung verändert werden kann, denn über Situationen von diesem Typ soll ein technisches Wissen gebildet werden. Das Sukzedenz steht nicht zur Disposition bei der empirischen Forschung.

29) POPPER gesteht selber zu, daß die Exhaustion ein methodisch korrektes und prinzipiell mögliches Verfahren der Theoriebildung ist. Er richtet deshalb auch seine Kritik gegen die Ziele der Wissensbildung, die seiner Meinung nach der Exhaustionsmethode zugrundeliegen. "Wir halten die konventionalistische Auffassung für in sich geschlossen und durchführbar; eine immanente Kritik hätte wenig Aussicht auf Erfolg. Dennoch schließen wir uns ihr nicht an: Ihr Ziel ist ein anderer Wissenschaftszweck als der unseren, eine Zielsetzung, ein anderer Zweck. Während wir keine endgültige Sicherheit von der Wissenschaft verlangen und deshalb auch keine erreichen, sucht der Konventionalist in der Wissenschaft ein "System letztbegründeter Erkenntnisse" (DINGLER)."; POPPER 1969, S. 48.

Das ist für die klassische Mechanik wieder unmittelbar einleuchtend. $r(t)$ sei die kinematische Darstellung einer Bewegungsform, $\ddot{r}(t)$ die dazu gehörige Beschleunigung, die technisch beherrscht werden muß. $r(t)$ und $\ddot{r}(t)$ sind vorgegeben. Es werden dann Kräfte k_1 bis k_n unterschieden, so daß eine Ausgangssituation, die durch das Auftreten der Kräfte k_1 bis k_n charakterisiert ist, zur Beschleunigung $\ddot{r}(t)$ führt. In Anlehnung an die Darstellung der analytischen Wissenschaftstheorie können wir das so notieren:

$$A(k_1, \dots, k_n) \rightarrow \ddot{r}(t).$$

Wird nun $A(k_1, \dots, k_n) \rightarrow \ddot{r}(t)$ falsifiziert, so tritt an die Stelle des Verlaufsgesetzes³⁰⁾ ein neues Verlaufsgesetz der Form $A'(k_1, \dots, k_n, k_{n+1}) \rightarrow \ddot{r}(t)$. Formal betrachtet hat möglicherweise das letztere Verlaufsgesetz einen geringeren empirischen Gehalt gegenüber dem ersteren, trotzdem werden wir uns auf $A'(k_1, \dots, k_n, k_{n+1}) \rightarrow \ddot{r}(t)$ stützen, wenn wir die Beschleunigung $\ddot{r}(t)$ erzeugen wollen.

Außerdem berücksichtigt POPPER nicht, daß die Forschung auch technikabhängig ist und daher schrittweise der Anwendungsbereich erweitert wird. Ein Verlaufsgesetz kann in einem ersten, beschränkten Anwendungsbereich technisch bestens bewährt sein. Erst wenn dieser Anwendungsbereich erweitert wird, treten dann u.U. Schwierigkeiten auf. Diesen Schwierigkeiten wird man aber in der Regel so zu begegnen suchen, daß man auf dem aufbaut, was man theoretisch schon weiß und technisch schon beherrscht. Insbesondere

30) Die Darstellung der Exhaustion, wonach eine Theorie trotz abweichender experimenteller Befunde beibehalten wird, ist sehr irreführend: treten Diskrepanzen zwischen theoretischen Berechnungen und erzielten Experimenti-
mentierergebnissen auf, wird auch ein Anhänger des Exhaustionsverfahrens die bisherige Theorie nicht unverändert lassen, denn z.B. die Erweiterung um ein weiteres Kraftgesetz ist bereits eine Veränderung der ursprünglichen Theorie. Falsifikationisten und Anhänger der Exhaustionsmethode unterscheiden sich nicht darin, welche Modifikationen einer Theorie sie im Falle ihrer "Falsifizierung" zulassen.

wird man das Wissen, das sich in bestimmten Anwendungsbereichen bewährt hat, nicht einfach beiseiteschieben, sondern mit heranziehen. In dieser sinnvollen Vorgehensweise liegt eine Begründung für das Prinzip der linearen Superposition, wie wir in Kapitel 6 dargelegt haben.

Im Hinblick auf die klassische Mechanik und dem ihr zugrundeliegenden NEWTON-Programm ist die grundlegende Verwerfungsregel der "Logik der Forschung" deshalb zu kritisieren, weil durch sie das spezifische theoriebildende Prinzip der klassischen Mechanik, das einsichtig begründet werden kann, nicht zur Geltung gebracht wird. Die POPPERsche Verwerfungsregel des "methodologischen Falsifikationismus" geht an einem Spezifikum der klassischen Mechanik vorbei.

Analytische Wissenschaftstheoretiker sind inzwischen selber der Meinung, daß die Verwerfungsregel des "methodologischen Falsifikationismus" dem Forschungsgang nicht gerecht wird. Diese Einsicht ist ein zentrales Ergebnis der sogenannten "theoriendynamischen Wende" der analytischen Wissenschaftstheorie³¹⁾. Allerdings hat weniger

31) Nach der "theoriendynamischen Wende" der Wissenschaftstheorie werden nicht mehr Systeme von Sätzen (Theorien) in ihrem stationären Zustand auf ihre logische Struktur hin untersucht, sondern in den Brennpunkt wissenschaftstheoretischer Untersuchungen tritt jetzt der Übergang von einer Theorie zu einer anderen, wobei der Übergang durch die Mängel und Schwierigkeiten der ersten Theorie provoziert wird. An den Problemen der Theoriendynamik orientierte Wissenschaftstheorie ist Prozedurmethodologie (FEYERABEND). Systematisch angelegt ist die theoriendynamische Orientierung der Wissenschaftstheorie schon in POPPERs "Logik der Forschung", in der bereits Fragen des Fortschritts in der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung eine große Rolle spielen. Die wichtigsten Vertreter des theoriendynamischen Trends der analytischen Wissenschaftstheorie (LAKATOS, FEYERABEND, TOULMIN) kommen daher nicht von ungefähr aus der POPPER-Schule. Obwohl bei POPPER angelegt, geht die theoriendynamische Wende letztlich auf die Wirkung des KUNNschen Werk zurück.

eine systematische, methodologische Argumentation, also etwa eine methodische Rekonstruktion der klassischen Mechanik auf der Basis des NEWTON-Programms die theoriendynamische Wende gebracht, sondern sie ist hervorgerufen worden durch die für die analytische Wissenschaftstheorie provozierenden Thesen von KUHN zur Wissenschaftsgeschichte³²⁾, daß sich nämlich im faktischen Gang der Wissenschaftsgeschichte die Befolgung der analytischen Methodologien gar nicht nachweisen lassen³³⁾. Die "theoriendynamische Wende" der analytischen Wissenschaftstheorie ist

32) Hier ist vor allem KUHNs Buch "Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen" zu nennen. Die Herausforderung der Analytiker durch KUHN und die durch ihn in Gang gekommene Diskussion ist besonders in dem von LAKATOS/MUSGRAVE herausgegebenen Buch "Criticism and the Growth of Knowledge", 1970, (in erweiterter deutscher Übersetzung 1974 unter dem Titel "Kritik und Erkenntnisfortschritt" erschienen) belegt. Eine aufschlußreiche Betrachtung der Herausforderung durch KUHN gibt STRÖCKER 1974.

33) FEYERABEND 1972, S. 38 drückt das so aus: "Das Ergebnis des Vergleichs ist, daß die Theorien (der Wissenschaftstheoretiker, H.T.) und die wissenschaftliche Entwicklung fast gar nichts miteinander zu tun haben, daß die Theorien entweder an der Wissenschaft vorbeireden, keinen Angriffspunkt in ihr haben, oder daß sie sie empfindlich stören, ja selbst vernichten würden, wenn es ihnen je gelänge, einen solchen Angriffspunkt zu finden."

dann zugleich eine "historische Wende" geworden³⁴⁾.

Auf eine wissenschaftshistorische Argumentation zur klassischen Mechanik wollen wir uns hier nicht einlassen. Wir wollen stattdessen ein systematisch darstellbares, also nicht rein wissenschaftshistorisch argumentierendes Resultat der theoriendynamischen Wende erörtern, nämlich die sogenannte "Methodologie der Forschungsprogramme" von Lakatos. Dies bietet sich aus zwei Gründen an: Zum einen kommt die Auffassung von LAKATOS der hier vorge-tragenen am nächsten, wonach einerseits die klassische Mechanik in der Grundgleichung

$$m \ddot{r}(t) = \sum_{i=1}^n k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$$

zu unterscheiden ist von dem NEWTON-Programm als einem

-
- 34) MITTELSTRASS 1974, S. 144 stellt den historischen Bezug der analytischen Wissenschaftstheorie auf die Wissenschaftsgeschichte so dar: "Die in einer analytischen Theorie der Wissenschaftsgeschichte wirksame Absicht, ein analytisches Wissenschaftsverständnis durch die Darstellung historischer Entwicklungen zu legitimieren und durch eine erklärungsorientierte Theorie dieser Entwicklungen zu ergänzen, führt einerseits zu einer Überforderung historiographischer Mittel, andererseits in einen neuen Historismus, in dessen Rahmen historische Entwicklungen über die Qualität von Theorien entscheiden." In seinem Aufsatz "Die Geschichte der Wissenschaft und ihre rationalen Rekonstruktionen" macht LAKATOS 1974 die wissenschaftshistorische Erklärungskraft einer systematischen Methodologie (Wissenschaftstheorie, "Theorie der Rationalität") zum Entscheidungskriterium zwischen alternativen wissenschaftstheoretischen Normenvorschlägen und erweitert damit den Historismus auch auf die Metatheorien. Gegen die erklärungsorientierte analytische Wissenschaftsgeschichte setzt MITTELSTRASS eine konstruktive Wissenschaftsgeschichte als "Gründegeschichte": "Wissenschaftsgeschichte als Gründegeschichte betrifft die Abhängigkeit historischer Entwicklungen von praktischen Orientierungen (Handlungsregeln, Zielen) und die in ihnen eingeschlossenen Ansätze zu einem begründungsorientierten, d.h. vernünftigen Aufbau von Wissenschaft. Historische Rekonstruktionen, die unter heuristischem Rekurs auf normative Genesen Beurteilungen faktischer Genesen enthalten, dienen insofern dem Ziel einer Reorganisation der bestehenden wissenschaftlichen Praxis unter dem Gesichtspunkt ihrer konstruktiven Begründung"; MITTELSTRASS 1974, S. 144 (beide Zitate im Original kursiv).

Forschungsprogramm, das die Aufstellung einer solchen Grundgleichung methodisch anweist. Zum anderen kann in der Auseinandersetzung mit der LAKATOSschen Methodologie unsere Diskussion zur Problematik von Annahme- und Verwerfungsregeln zu einem Abschluß gebracht werden.

Nach LAKATOS gehört eine Abfolge von Theorien $T_1, \dots, T_n$ zu demselben Forschungsprogramm, wenn alle Theorien erstens übereinstimmen in einem "harten Kern", das ist ein System von theoretischen Sätzen und Annahmen, die nicht verworfen werden dürfen (sollen), und wenn zweitens die immer vorhandenen Diskrepanzen zwischen einer Theorie und den "Daten"³⁵⁾ nach einem Kanon festgelegter Regeln durch den Übergang von einer Theorie zu der nächsten in der Abfolge behoben werden. Die letzteren Regeln nennt LAKATOS positive Heuristik, die Regeln und Anweisungen, durch die der "harte Kern" vor Widerlegungen abgesichert wird, die negative Heuristik des Forschungsprogramms³⁶⁾.

Als Beispiel eines Forschungsprogramms führt LAKATOS selber die NEWTONsche Mechanik an. "Das klassische Beispiel für ein erfolgreiches Forschungsprogramm, vielleicht das erfolgreichste aller Zeiten, ist Newtons Gravitationstheorie."

35) "Daten" sind hier nicht nur in Basissätzen protokollierte Meßergebnisse, sondern können auch aus bestimmten Gründen akzeptierte generelle Sätze (Hypothesen) sein. Die "Daten" in den theoriendynamisch orientierten Theorien der Annahme oder Verwerfung umfassen das jeweils gesamte akzeptierte Wissen, das für eine Theorie relevant, weil mit ihr verträglich oder unverträglich, ist. Mit der theoriendynamischen Wende setzt sich auch die Auffassung vom Theorienpluralismus durch, d.h. die These, daß jeweils ganze Theorien miteinander konkurrieren, im Widerstreit miteinander liegen und "rationale" Entscheidungen über die Annahme oder Verwerfung einer Theorie nur im Blick auf alternative Theorien getroffen werden können (sollen).

36) Zur Methodologie der Forschungsprogramme siehe besonders LAKATOS 1974 a, S. 39 - 111. Eine Charakterisierung eines Forschungsprogramms gibt LAKATOS a.a.O. S. 129 - 134.

Und etwas später heißt es: "In Newtons Programm verlangt die negative Heuristik, daß wir den Modus tollens von Newtons drei Gesetzen der Dynamik und von seinem Gravitationsgesetz ablenken. Dieser 'Kern' des Programms ist 'unwiderlegbar' auf Grund der methodologischen Entscheidungen seiner Protagonisten: Anomalien dürfen nur im 'Schutzgürtel' von Hilfhypothesen, 'Beobachtungshypothesen' und Anfangsbedingungen zu Veränderungen führen"³⁷⁾.

Nun ist LAKATOS' Beschreibung des NEWTON-Programms ungenau. Wenn er meint, daß zum "Kern" des Programms die drei Gesetze der Dynamik gehören, so unterstellt er, es handele sich dabei um Verlaufsgesetze, die vor Verwerfungen geschützt werden. Zu den drei Gesetzen der Dynamik gehört aber vor allem das zweite NEWTONsche Gesetz, von dem wir gezeigt haben, daß es kein deskriptives Verlaufsgesetz, sondern die methodische Anweisung ist, in der Mechanik Verlaufsgesetze von der Form der Kraftgesetze aufzustellen³⁸⁾.

Das Gravitationsgesetz dagegen ist ein Verlaufsgesetz, genauer ein Kraftgesetz von der im NEWTON-Programm verlangten Form. Als ein in bestimmten Bereichen bewährtes Verlaufsgesetz (Erklärung der KEPLERSchen Planetengesetze) wird es durch das Prinzip der linearen Superposition zunächst einmal vor Verwerfungen geschützt, jedoch nicht prinzipiell. In dem Sinne gehört es nicht zum "harten Kern" einer jeden klassischen Mechanik, also zu dem, was allen nach den methodischen Anweisungen des NEWTON-Programms aufgestellten Systemen von Kraftgesetzen gemeinsam ist.

Die "positive Heuristik" des NEWTON-Programms kann explizit angegeben werden: sie ist nichts anderes als das Prinzip der linearen Superposition. LAKATOS' Bemerkungen zur positiven Heuristik sind demgegenüber unnötig vage.

37) LAKATOS 1974 a, S. 130

38) Die drei Gesetze der Dynamik von NEWTON werden wir noch gesondert im folgenden Kapitelabschnitt 7.4. diskutieren.

Wichtig ist, daß LAKATOS unterscheidet zwischen der Verwerfung einer Theorie T_i im Rahmen eines Forschungsprogramms, die durch eine andere Theorie T_{i+1} abgelöst wird, und dem Aufgeben des Forschungsprogramms selber. Der Übergang von T_i zu T_{i+1} wird allein durch die negative und positive Heuristik des Forschungsprogramms geregelt.

Im Rahmen des NEWTON-Programms können verschiedene "Mechaniken" entwickelt werden, also verschiedene Systeme von Kraftgesetzen in formaler Superposition, die sich durch die Anzahl der Kraftgesetze und die Kraftfunktionen unterscheiden können. Der programmgemäße Übergang von einer Theorie T_i zu einer Theorie T_{i+1} im Rahmen des NEWTON-Programms wird dadurch vollzogen, daß an die Kraftwirkungsterme von T_i weitere additiv angehängt werden. Wir haben das ausführlich diskutiert.

Nach LAKATOS ist ein Forschungsprogramm nur dann erfolgreich, wenn es zu einer progressiven Problemverschiebung führt. Eine Abfolge von Theorien $T_1, \dots, T_n$ stellt eine progressive Problemverschiebung dar, wenn das Folgende gilt:

- a) für jedes i hat die Theorie T_{i+1} einen größeren empirischen Gehalt als T_i , d.h. T_{i+1} "sagt Tatsachen voraus", die aufgrund von T_i nicht wahrscheinlich oder gar ausgeschlossen sind;
- b) T_{i+1} "erklärt den Teil von T_i ", wo T_i erfolgreich, bewährt ist; der nicht widerlegte Gehalt von T_i ist in T_{i+1} enthalten;
- c) T_{i+1} ist z. T. bewährt in dem über T_i hinausgehenden empirischen Gehalt³⁹⁾.

Dabei gehören die Theorien T_i zum selben Forschungsprogramm.

Das LAKATOSsche Beurteilungskriterium der progressiven Problemverschiebungen, auf das ein Forschungsprogramm

39) Zum Kriterium der progressiven Problemverschiebung vgl. LAKATOS 1974 a, S. 114/115

führt, läßt sich leicht bei entsprechender Interpretation auf das NEWTON-Programm der klassischen Mechanik anwenden.

ad a): Wird das NEWTON-Programm befolgt, so stellt sich der Gang der Theoriebildung dar als eine Abfolge von Theorien $T_1, \dots, T_n$. Der Übergang von T_i zu T_{i+1} ist der Übergang zu einer technikorientierten Bewegungstheorie mit erweitertem Anwendungsbereich und größerer Reichweite⁴⁰⁾.

Nach der "positiven Heuristik" des NEWTON-Programms wird der Anwendungsbereich erweitert, indem an das schon aufgestellte System von Kraftfunktionen weitere Kraftwirkungsterme additiv hinzugefügt werden. Es lassen sich dann Bewegungsformen technisch mit Körpern realisieren, für die das bisher nicht gelungen war.

Daß der Gang der Theoriebildung sich erweist als eine schrittweise Erweiterung des Anwendungsbereichs hängt mit dem schon diskutierten Umstand zusammen, daß die Theoriebildung wechselseitig verschränkt ist mit dem Niveau experimenteller Techniken. Technische Realisierungen sind immer zuerst in einem bestimmten Anwendungsbereich erfolgreich, von dem ausgehend der Bereich hinsichtlich der technisch verfügbaren Körper ausgedehnt wird.

ad b): Die Forderung b) sollte beim Übergang von einer Theorie der Mechanik T_i zu einer Theorie T_{i+1} im Rahmen des NEWTON-Programms erfüllt sein. Wird durch T_{i+1} der Anwendungsbereich und die Reichweite von T_i erweitert, so soll ja die Möglichkeit, Bewegungsformen zu realisieren, nicht für den Anwendungsbereich an technischer Perfektion durch eine Neuorientierung an T_{i+1} einbüßen, für

40) Daß zusätzlich für neue Körper aus einer durch eine Eigenschaft charakterisierten Klasse vollständig bestimmte Bewegungen technisch verfügbar werden bzw. die Reichweite der quantitativen kinematischen Bestimmungen von Körpern, die wir technisch beherrschen, ausgeweitet werden kann, scheint mir ein angemesseneres und genaueres Kriterium der Gehaltvermehrung einer technikorientierten Theorie zu sein als das POPPERsche aus der "Logik der Forschung" oder das an bloßen Erklärungsleistungen ("Entdeckungen") orientierte von LAKATOS.

den die an T_i orientierte technische Verfügung über Bewegungen bisher unbestreitbar erfolgreich war.

ad c): Diese Forderung ist selbstverständlich. Der Übergang zu T_{i+1} soll verbunden sein damit, daß jetzt auch de facto Bewegungsformen störungsfrei mit Körpern realisiert werden können, die bisher außerhalb der theoretischen Analyse und der technischen Verfügbarkeit lagen.

Da LAKATOSsche Kriterium für ein erfolgreiches Forschungsprogramm ist also durchaus rekonstruierbar und begründbar für das NEWTON-Programm einer technikorientierten klassischen Mechanik. Das NEWTON-Programm wird u.a. gerade damit begründet, daß für den Forschungsgang auf lange Sicht die Kriterien a) bis c) erfüllt sind.

Greifen wir jetzt die Diskussion des Problems der Akzeptierungs- und Verwerfungsregeln wieder auf, in der wir bisher folgendes zu zeigen versucht haben: Positive Akzeptierungsregeln basierend auf einem formallogisch-syntaktisch definierten Bestätigungsbegriff können die Theoriebildung zur Mechanik nicht orientieren, denn die Theorie mit den technisch-experimentellen Meßdaten in Übereinstimmung zu bringen, wird nicht unmittelbar angestrebt. Diese Übereinstimmung stellt sich vielmehr in Erfüllung anderer, die Forschung unmittelbar anleitender Zielsetzungen und Forderungen als Forschungsergebnis "auf lange Sicht" ein. Diese forschungsanleitenden Zielsetzungen und Forderungen für die Theoriebildung der klassischen Mechanik sind im NEWTON-Programm niedergelegt.

Desgleichen geht die Verwerfungsregel des POPPERSchen Falsifikationismus an den methodischen Aufbauprinzipien der klassischen Mechanik vorbei, wie sie im NEWTON-Programm vorgeschlagen sind.

Daraus folgt, daß die Akzeptierungs- und Verwerfungproblematik für die klassische Mechanik, soweit sie überhaupt methodisch normiert werden kann, zu beziehen ist auf den

nach dem NEWTON-Programm geregelten Übergang von einem System von Kraftgesetzen zu einem anderen. Was ist dem NEWTON-Programm aber für die Annahme oder Verwerfung eines Systems von Kraftgesetzen zu entnehmen?

Die nach dem NEWTON-Programm schrittweise aufzubauende technikorientierte mechanische Theorie bewährt sich, wenn es für einen immer größeren Anwendungsbereich gelingt, Bewegungsformen auf eine vorausplanbare Weise störungsfrei zu realisieren⁴¹⁾. Bei einer sich so bewährenden mechanischen Theorie werden dann insbesondere die nach den Kraftgesetzen berechneten Beschleunigungen im Rahmen der Meßgenauigkeit mit den Beschleunigungen zusammenstimmen, die sich erzielen lassen, läßt man technisch verfügbare Kräfte (Beschleunigungsverfahren) auf Körper wirken. Eine in diesem Sinne bewährte Theorie sollte akzeptiert werden.

Schlägt die Realisierung vollständig bestimmter Bewegungen mit den technisch verfügbaren Kräften oder die Vorausberechnung mit den dazu gehörenden Kraftgesetzen fehl, so wird in der Regel die experimentelle Forschung und die ihr korrespondierende Theoriebildung (Aufstellung der Kraftgesetze) nach dem Prinzip der linearen Superposition mit dem Ziel weiter voran getrieben, dabei zugleich den technisch schon verfügbaren Anwendungsbereich und die Reichweite auszuweiten. Doch läßt das NEWTON-Programm auch zu, statt das akzeptierte System von Kraftgesetzen unangetastet zu lassen und nur um weitere Kraftgesetze zu erweitern, es zu verändern, also z. B. den Kraftwirkungsterm in einem Kraftgesetz durch

41) Dieser Bewährungsbegriff wird am Ziel technikorientierter Forschung festgemacht und nicht, wie die Bestätigungsbegriffe der Analytiker, an formallogisch-syntaktischen Relationen zwischen Sätzen. Es ist ein pragmatischer Begriff der Bewährung. Daß er von der formalen Struktur seiner Definition her nicht so raffiniert wie die analytischen Bestätigungsbegriffe ist, soll nicht als Ungeheuerlichkeit oder Mangel ausgelegt werden. Angesichts der für die Akzeptierungs- und Verwerfungsproblematik zu konstatierenden Irrelevanz der analytischen Bestätigungsbegriffe scheint er mir allemal adäquater.

einen anderen zu ersetzen⁴²⁾. Wann man den einen Weg, wann den anderen einschlägt, läßt sich von einer wissenschaftstheoretischen Warte aus nicht mehr durch entsprechende Regeln forschungsfördernd normieren.

Man sollte keine über die im NEWTON-Programm vorgesehenen grundsätzlichen Regelungen der Annahme oder Verwerfung einer mechanischen Theorie hinausgehenden, detaillierteren Annahme- oder Verwerfungsregeln aufstellen wollen. Solche Regeln müßten relativ zu Bedingungen der Forschung aufgestellt werden, über die sich methodisch, wissenschaftstheoretisch kaum etwas ausmachen läßt und die sich methodisch kaum normierend antizipieren lassen: es sind vor allem forschungspragmatische Gesichtspunkte wie die Zeitdauer, die die Forschung schon andauert, die zur Verfügung stehenden Forschungsmittel, die Einfälle, die technologischen Innovationen, die unabhängig von der theoretischen Forschung erreicht werden, die Meßdaten usw. usf.⁴³⁾.

-
- 42) Das zeigt, daß das Prinzip der linearen Superposition keine zwingende Vorschrift, kein Gebot für die Theoriebildung im Rahmen der Mechanik ist. Als erfolgsversprechender Verfahrensvorschlag hat das Prinzip der linearen Superposition den Status einer heuristischen Anweisung, mit der man es in bestimmten Forschungssituationen versuchen soll. LAKATOS' Wendung von der "positiven Heuristik" ist in diesem Sinne durchaus treffend.
- 43) "Schon über die Entscheidung, ob bei Differenzen weitere Kraftgesetze eingeführt oder die bisherigen geändert werden sollen (....), läßt sich nichts im allgemeinen sagen: ... Ob man forschungspolitisch die Physiker ermuntern sollte, es mit vielen solchen Gesamtsystemen in freier Konkurrenz zu probieren (Theorienpluralismus), oder ob man sie ermahnen sollte gewisse klassische Hypothesen, z. B. das Newtonsche Kraftgesetz, auf jeden Fall beizubehalten (....) - das ist kein Problem der Theorie der Physik. Solche Fragen können nur sinnvoll im Zusammenhang einer Kulturkritik unserer Zeit behandelt werden."; LORENZEN/SCHWEMMER 1975, S. 239. - LORENZEN meint mit dem "Newtonschen Kraftgesetz" nicht die von uns so genannte methodische Anweisung aus dem NEWTON-Programm, sondern das allgemeine Gravitationsgesetz, also ein spezielles Kraftgesetz. Das NEWTONsche Kraftgesetz $F = m \cdot \ddot{x}$ aufzugeben, bedeutet, das NEWTON-Programm zu revidieren, und darüber läßt sich in der Theorie der Physik gerade etwas sagen.

Im Vergleich mit den formalistisch überaus aufwendigen Untersuchungen der analytischen Wissenschaftstheorie zur Akzeptierungs- und Verwerfungsproblematik mögen die hier auf der Basis des NEWTON-Programms dazu gemachten Aussagen eher spärlich ausfallen. Wer jedoch der systematischen Rekonstruktion der klassischen Mechanik auf der Basis des NEWTON-Programms zustimmt, der wird sich m. E. nicht der Einsicht verschließen können, daß die Akzeptierungs- und Verwerfungsproblematik wissenschaftstheoretisch längst nicht so ergiebig ist, wie das durch die analytische Wissenschaftstheorie oftmals suggeriert wird⁴⁴⁾. Man sollte

-
- 44) Die Aufstellung von Regeln der Annahme und Verwerfung gehört der Metastufe der Reflexion auf die physikalische Wissenschaft an, es wird über die physikalische Wissensbildung geredet, nicht sie selber vorangetrieben. Reflexionen, die ganz auf der Metastufe verbleiben, sind vermutlich insgesamt viel weniger ergiebig und für die Wissenschaft ertragreich als gemeinhin unterstellt wird von Seiten der analytischen Wissenschaftstheorie. Das ist bei der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik anders. Sie ist keine reine methodologische Metatheorie der Physik, sondern z. T. selber ein Teil der physikalischen Theoriebildung im weiteren Sinne. Die konstruktive Wissenschaftstheorie der Physik stellt erste Grundbegriffe und Grundsätze der Physik auf, an die sich die empirische Physik anschließt. Das wird besonders deutlich an der konstruktiven Theorie der metrischen Begriffe: sie ist keine allgemeine metatheoretische Definitionslehre für die Einführung metrischer Begriffe. Vielmehr werden in ihr die ersten Meßgrößen der Physik selber (Längen, Dauer, Masse) eingeführt, was im analytischen Verständnis eigentlich eine Tätigkeit der Physiker und nicht eine der Wissenschaftstheoretiker der Physiker sein sollte. Das Problem dagegen, wann wir eine physikalische Theorie annehmen oder verwerfen sollen, hat in der konstruktiven Wissenschaftstheorie der Physik bis auf den heutigen Tag längst nicht die Bedeutung erlangt, die es in der analytischen Wissenschaftstheorie bekommen hat. Dieser Besonderheit der konstruktiven Wissenschaftstheorie sind wir in dieser Arbeit insoweit gefolgt, als wir es nach Möglichkeit vermieden haben, auf einer Stufe schlechter Allgemeinheit Methodenfragen abzuhandeln, stattdessen haben wir uns bemüht, eng an den Problemen der Mechanik entlang zu argumentieren und mit wissenschaftstheoretischen Verallgemeinerungen vorsichtig zu sein.

nicht vergessen, daß gerade auch durch eine Untersuchung von Annahme- und Verwerfungsregeln der "Analytiker" FEYER-ABEND zu dem Ergebnis gekommen ist, die Wissenschaftstheorie sei "metascience of science-fiction"⁴⁵⁾.

7.4. Zur Analyse der "NEWTONschen Axiome"

Die NEWTONschen Axiome⁴⁶⁾ gelten gemeinhin als die grundlegenden Sätze der klassischen Mechanik. Der Ausdruck "Axiom" weist auf die ihnen zugedachte Rolle hin, nämlich über sie die klassische Mechanik zu axiomatisieren⁴⁷⁾. Durch Axiome erfährt eine Theorie nach dem üblichen Verständnis dadurch eine Grundlegung, daß alle anderen Sätze der Theorie logisch aus den Axiomen deduziert werden können. Wir werden noch sehen, daß die NEWTONschen Axiome allerdings nicht als oberste Deduktionsgrundsätze fungieren, aus denen die übrigen mechanischen Verlaufsgesetze hergeleitet werden können.

Wie die NEWTONschen Axiome ihrerseits zu begründen sind, darüber herrscht nun keineswegs Einigkeit unter den Physikern. In den meisten Lehrbüchern der Experimentelphysik werden sie als oberste, aber gleichwohl empirische, d.h.

45) STEGMÜLLER hat dies der konstruktiv orientierten Wissenschaftstheorie vorgeworfen; vgl. STEGMÜLLER 1973, S. 26. FEYERABEND macht dies in seinem Angriff auf die Wissenschaftstheorie zu einem generellen Vorwurf. Man muß ihm hierin nicht folgen, aber beschränkt auf die Diskussion um die Annahme oder Verwerfung von Theorien ist FEYERABENDs These "von der beschränkten Gültigkeit methodologischer Regeln" durchaus zuzustimmen.

46) Zu den NEWTONschen Axiomen rechnen wir das sogenannte Trägheitsprinzip, das sogenannte zweite NEWTONsche Kraftgesetz $F = m a$, das Actio-Est-Reactio-Prinzip und das Prinzip der linearen Superposition, bei NEWTON als Zusatz über die Zerlegbarkeit von Kräften zu den drei ersten "Bewegungsgesetzen" aufgeführt; vgl. NEWTON 1973.

47) Vgl. für das Folgende STEGMÜLLER 1970, S. 110- 138. STEGMÜLLER redet z.B. von den "Newtonschen Axiomen" und bezieht sich in der Fußnote 1, S. 111 auf die drei Sätze als eine "Axiomatisierung" der Mechanik.

experimentell-messender Überprüfung zugängliche Sätze vorgestellt⁴⁸⁾. Andere Physiker tendieren dazu, sie eher als Definitionen oder konventionell geltende Sätze aufzufassen. Und nicht selten wird diese Frage einfach offengelassen, man behandelt sie wie empirische Sätze und manchmal daneben als analytisch wahre Behauptungen.

Die analytische Wissenschaftstheorie ist gemäß ihrem deskriptiven Bezug auf die faktisch betriebene Physik ein getreues Abbild der nebeneinander bestehenden kontroversen Deutungen der NEWTONschen Axiome. Letztlich reduzieren aber auch die analytischen Wissenschaftstheoretiker das Problem, wie die NEWTONschen Axiome zu begründen sind, auf die Alternative: empirisch gehaltvoller Satz oder Definition, "Tautologie", "Festsetzung"⁴⁹⁾.

48) Vgl. etwa das Lehrbuch der Experimentelphysik von BERGMANN/SCHÄFER

49) STEGMÜLLER 1970, S. 114 unterscheidet 6 mögliche Deutungen der NEWTONschen Axiome: Sie sind synthetische Wahrheiten a priori; sie sind nicht a priori wahr, aber auch nicht durch Beobachtungen widerlegbar und in diesem Sinne notwendige Voraussetzungen der experimentellen Naturwissenschaften; sie sind überhaupt keine deskriptiven Aussagen, sondern allgemeine Leitsätze für die Erwerbung und Ordnung unseres empirischen Wissens; sie sind empirische Generalisationen; es sind nur sehr indirekt durch beobachtbare und experimentelle Tatsachen nahegelegte und bestätigte theoretische Hypothesen; es sind Definitionen oder Konventionen. Mit wenigen Bemerkungen reduziert STEGMÜLLER dann die Diskussion dieser 6 Deutungsmöglichkeiten auf die Alternative: empirische Hypothese oder Definition. Die anderen Deutungsmöglichkeiten meint er von vornherein ausschließen zu können. Er folgt darin NAGEL 1961, S. 174 - 202. - Auch HANSON 1969, S. 99 f. unterscheidet ähnlich wie STEGMÜLLER 5 verschiedene Deutungsmöglichkeiten (allerdings nur des zweiten NEWTONschen Axioms). Anders als STEGMÜLLER diskutiert er alle Deutungsmöglichkeiten durch und kommt am Ende zu dem Ergebnis: " $f=m(d^2s/dt^2)$ " can sometimes be used to express a definition, sometimes a statement of how force is to be measured, sometimes a substantial proposition (...). What physicists call 'the second law' really consists in everything that can be expressed by way of different uses of this formula."; HANSON 1969, S. 104f.

Zur wissenschaftstheoretischen Deutung der NEWTONschen Axiome wollen wir hier einige kritische Bemerkungen machen⁵⁰⁾. Wir beschränken uns auf die Analyse des ersten und zweiten NEWTONschen Axioms⁵¹⁾ und beginnen mit dem zweiten.

"Die Aenderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen Linie, nach welcher jene Kraft wirkt."⁵²⁾ In der Regel wird diese NEWTONsche Formulierung kurz notiert durch $F = m a$ oder $F = m \frac{dv}{dt}$ bzw. $F = m \frac{d^2r(t)}{dt^2}$ ⁵³⁾.

Die erste Möglichkeit einer Deutung des zweiten NEWTONschen Axioms, die NAGEL diskutiert, ist die, $F = m a$ als

-
- 50) Im Folgenden diskutieren wir im wesentlichen die Untersuchungen von NAGEL 1961, S. 174 - 202 zu den NEWTONschen Axiomen. NAGELs Argumente finden sich referiert in STEGMÜLLER 1970, S. 110 - 138. Außerdem gehen wir noch auf HANSON 1969, S. 93 - 118 ein.
- 51) Das Actio-Est-Reaction-Prinzip kann bei der hier vorgetragenen Rekonstruktion des NEWTON-Programms akzeptiert werden als logische Folgerung aus dem aufgrund des gewählten Massenmeßverfahrens über den Stoß a priori geltenden Impulssatzes. Das Prinzip der formalen Superposition haben wir ausführlich in Kapitel 6 diskutiert. In den wissenschaftstheoretischen Untersuchungen wird es zwar manchmal erwähnt, jedoch nie eigens erörtert; ganz zu Unrecht, wie wir sagen müssen.
- 52) NEWTON 1963, S. 32
- 53) STEGMÜLLER 1970, S. 115 formalisiert die drei NEWTONschen Axiome sehr aufwendig als generelle Subjunktionen. Das ist eine bei den Analytikern und speziell bei STEGMÜLLER immer wieder anzutreffende formalistische Pflichtübung, deren erhellender Beitrag für die Diskussion der in Frage stehenden Sache in der Regel marginal ist und deren Aufwand in keinem Verhältnis zum Ertrag steht. NAGEL z.B. verzichtet auch auf solche Formalisierungen.

Definition anzusehen, und zwar als Definition von "Kraft"⁵⁴⁾. Er sieht richtig, daß diese Definition die folgenden methodischen Voraussetzungen hat:

- a) Es muß ein geeignetes Bezugssystem ausgewählt sein ohne Rekurs auf das Gesetz $F = m a$;
- b) Es müssen das geometrische System zur Beschreibung des "physikalischen Raumes", ein Längenmeßverfahren einschließlich einer Längenmetrik festgelegt sein, wieder ohne dabei auf $F = m a$ zu rekurrieren;
- c) Es muß ein Meßverfahren für Dauern mit einer Zeitmetrik unabhängig von $F = m a$ zur Verfügung stehen;
- d) Es muß der Massenbegriff ohne Rekurs auf den Kraftbegriff eingeführt sein⁵⁵⁾.

Wir haben in der systematischen Rekonstruktion schon nachgewiesen, daß die genannten methodischen Voraussetzungen in Bezug auf $F = m a$ zirkelfrei erbracht werden können.

Das gesteht auch NAGEL zu: "There can be no doubt that a consistent formulation for the theory of mechanics can be given such that, if 'mass' and 'acceleration' are either taken to be primitive terms in the system or defined without reference to forces, the term 'force' is defined as 'mass times acceleration'."⁵⁶⁾

Er fährt dann fort: "In such a formulation there is indeed no need for retaining the word "force" except as a convenient abbreviation for a longer expression, since whenever the word does occur it can be replaced without loss of meaning by its defined equivalent. On this formulation of the theory, Newton's

54) HANSON 1969, S. 100 läßt bei der Diskussion seiner von ihm unterschiedenen Deutungsmöglichkeiten sogar noch offen, welcher Terminus durch das NEWTONsche zweite Axiom definiert werden könnte. Er denkt an operationale Definitionen ("a technique of measuring") der Begriffe "Kraft", "Masse" und "Beschleunigung".

55) Vgl. NAGEL 1961, S. 175 und S. 177, sowie STEGEMÜLLER 1970, S. 119.

56) NAGEL 1961, S. 187

second axiom can be omitted without loss, since the axiom then states an analytical truth"⁵⁷⁾.

Das wäre nur dann richtig, wenn das zweite NEWTONsche Axiom lediglich eine explizite Definition des Terminus "Kraft" wäre. Eine solche Definition beinhaltet es insbesondere auch. Und natürlich könnte man auf das Wort "Kraft" verzichten. Aber das ist überhaupt nicht der springende Punkt. Aufgrund unserer systematischen Überlegungen wissen wir, daß das NEWTONsche Kraftgesetz wesentlich nicht nur eine Definition zum Ausdruck bringt, sondern vor allem die methodische Anweisung ist, für den Zweck der technikorientierten Mechanik zu den entwickelten und technisch verfügbaren Beschleunigungsverfahren Verlaufsgesetze der Form $m \ddot{r}(t) = k(r(t), \dot{r}(t), t)$ aufzustellen.

Und wenn man auch auf das Wort "Kraft" verzichten mag, so bleibt immer noch methodisch zu begründen, warum wir uns bei einer technikorientierten Theorie der Bewegungserzeugung gerade für die Größe $m a$, Kraft genannt, interessieren. Dies Problem läßt sich nicht als triviale sprachliche Festsetzung aus der Welt schaffen. Wir haben dazu alles Einschlägige in Kapitel 6 vorgebracht.

Doch gibt sich NAGEL mit der Deutung als Definition selber nicht zufrieden, obwohl er keinen stichhaltigen Einwand gegen sie ins Feld führen kann. Er fragt danach, ob $F = m a$ nicht doch als empirische Behauptung gedeutet werden kann.

Er führt zunächst aus, daß es dann ein Verfahren zur Kraftmessung unabhängig vom Axiom $F = m a$ geben müsse und weist dazu auf die Kraftmessung mit Hilfe einer Kraftfeder. Für einen bestimmten Anwendungsbereich sieht er darin eine Möglichkeit, Kräfte unabhängig vom zweiten NEWTONschen Axiom

57) NAGEL 1951, S. 187f

zu messen. "Kraft" wird operational über das Messen mit einer Kraftfeder definiert.

Für viele Körper aber versagen solche Kraftmeßverfahren: "In such cases - - the magnitude and direction of the hypothetical forces acting on bodies are calculated from the accelerations they induce in these bodies. Accordingly, the answer to the first question is in the negativ: physics has not found possible,..., to supply a general measure of force which is independent of the second axiom of motion"⁵⁸⁾.

Nach unserer Rekonstruktion werden Kräfte, wenn sie überhaupt gemessen werden, denn i.a. benutzt man bekannte Kräfte gerade zur Berechnung der Beschleunigungen, über Beschleunigungen von Körpern gemessen. Irreführend ist die Wendung "hypothetical forces", denn es handelt sich nicht um indirekte Kraftmessung, wobei das zweite NEWTONsche Axiom als empirisches Verlaufsgesetz benutzt würde.

Das kann schon deshalb nicht sein, da in dem zweiten NEWTONschen Axiom keine bestimmte Kraftfunktion vorkommt. Diese Schwierigkeit konstatiert auch NAGEL für eine Deutung des NEWTONschen Axioms als empirische Behauptung⁵⁹⁾. Er meint, daß man eine Klasse K festlegen müssen, aus der die überhaupt zulässigen Kraftfunktionen zu wählen sind. Das Axiom sei dann als die empirische Behauptung zu reformulieren: "For every change in the momentum of a body, there is a force F such that F is a member of K, and $F = m a$ "⁶⁰⁾.

58) NAGEL 1961, S. 189

59) Vgl. NAGEL 1961, S. 190/191

60) NAGEL 1961, S. 190

Diese Rekonstruktion ist zum einen mit dem Mangel behaftet, daß NAGEL nicht klar machen kann, wie denn die Klasse K der zulässigen Kraftfunktionen festgelegt ist⁶¹⁾. Wir haben in Kapitel 6 dafür argumentiert, daß Kraftfunktionen Funktionen der Größen Ort, Dauer und Geschwindigkeit sind, daß sie Funktionsterme lösbarer Differentialgleichungen sein sollen und daß sie als Funktionen eines Verlaufsgesetzes stetig sein müssen⁶²⁾.

Zum anderen wird in der zuletzt genannten NAGELschen Rekonstruktion das NEWTONsche Axiom zu einer weder verifizierbaren noch falsifizierbaren Aussage, da sie eine generelle Behauptung mit gemischten All- und Existenzquantoren ist. "Now it is for this reason that the second axiom is frequently regarded not primarily as an assertion about the conditions under which acceleration occur but rather as a compact formulation of a specialized guide for research, as a methodological rule which directs physicist what to look for when he is analyzing the motions of bodies"⁶³⁾.

Damit scheint NAGEL letzten Endes auch bei der hier vertretenen Auffassung angelangt zu sein. Aber abgesehen davon, daß sich NAGEL selber nicht auf eine der von ihm diskutierten Deutungen festlegen lassen möchte, ist seine Rekonstruk-

61) Die Klasse der zulässigen Kraftfunktionen kann nach NAGEL/STEGMÜLLER bestimmt werden dadurch, daß in ihnen für das betrachtete physikalische System charakteristische Konstanten vorkommen, daß sie Funktionen von den relativen Abständen zwischen den physikalischen Systemen sind, daß sie abhängen von den relativen Geschwindigkeiten und zeitlichen Abständen, daß sie nach Einfachheitsüberlegungen eine möglichst einfache Gestalt haben sollen; vgl. NAGEL 1961, S. 190 und STEGMÜLLER 1970, S. 132. Allerdings wird weder von NAGEL noch von STEGMÜLLER für eine dieser Bedingungen argumentiert, die sinnvollen Kraftfunktionen auferlegt werden sollen.

62) Man könnte daran denken, K als die Klasse der reell-analytischen Funktionen zu nehmen.

63) NAGEL 1961, S. 192 (Hervorh. im Original)

tion des NEWTONschen Kraftgesetzes als methodische Anweisung vage. Denn wozu wird denn der Physiker durch sie aufgefordert? Die Antwort; nach Kräften als den "Ursachen" von Bewegungsänderungen zu suchen ist, solange nicht erhellend, als der Terminus "Kraft" nicht eingeführt ist. Dazu äußert sich NAGEL aber jetzt nicht mehr. Gibt man zur Antwort, der Physiker werde dazu aufgefordert, Verlaufsgesetze über die Größe $m \cdot a$ aufzustellen, so muß diese um die Begründung dafür ergänzt werden. Von einer solchen ist aber bei NAGEL nichts zu lesen.

Die Antwort, die wir gegeben haben, wollen wir nochmals wiederholen: der Physiker wird aufgefordert, technisch verfügbare Verfahren zu entwickeln, durch die Körper beschleunigt werden, und zu jedem dieser Beschleunigungsverfahren eine Berechnungsformel aufzustellen, aus der bei gegebener Masse eines Körpers die Beschleunigung vorausberechnet werden kann, die ihm erteilt wird, wenn das Beschleunigungsverfahren auf ihn angewendet wird.

Dieser Antwort kommt HANSON ganz nahe, wenn er als eine der Deutungsmöglichkeit für das zweite NEWTONsche Axiom angibt: " $F=m(d^2s/dt^2)$ is not a statement at all, hence not true, false, analytic, or synthetic. It asserts nothing. It is either:

(c) a principle of instrument construction - to use such an instrument is to accept $F=m(d^2s/dt^2)$, and no result of an experiment in which this instrument was used could falsify it;..."⁶⁴).

64) HANSON 1969, S. 100

Übersetzt man "instrument" mit "Beschleunigungsverfahren", können wir HANSONs Behauptung unterschreiben. Was HANSON von uns unterscheidet ist, daß er offen läßt, was ein "instrument" ist, und daß er sich für keine der fünf von ihm vorgeschlagenen Deutungen entscheidet.

Kommen wir jetzt zum ersten NEWTONschen Axiom. Es lautet in der Formulierung von NEWTON selber: "Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern"⁶⁵⁾.

STEGMÜLLER bemerkt, daß "das erste Newtonsche Axiom eine logische Konsequenz des zweiten" ist⁶⁶⁾. In der Tat ist das erste NEWTONsche Axiom eine logisch-mathematische Folgerung aus dem zweiten, wenn man unter dem letzteren die Anweisung versteht, eine Theorie in Form der Grundgleichung

$$m \ddot{r}(t) = \sum_{i=1}^n k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$$

aufzustellen, und wenn man jede der Größen k_i eine "Kraft" nennt. "Wirkt keine Kraft auf einen Körper" mit bestimmter Masse, so ist jedes $k_i = 0$, also $m \ddot{r}(t) = 0$, also (wegen $m \neq 0$) $\ddot{r}(t) = 0$. Daraus folgt nach der Theorie der linearen Differentialgleichungen $\dot{r}(t) = \text{constant}$.

Diese Herleitung ist jedoch an zwei Bedingungen geknüpft:

- 1) Das Trägheitsgesetz gilt nur relativ zu dem Bezugssystem, auf das die mechanische Theorie bezogen ist.
- 2) In $m \ddot{r}(t) = \sum_{i=1}^n k_i(r(t), \dot{r}(t), t)$ müssen "alle Kräfte", die in dem Bezugssystem wirken können, vorkommen.

Die Bedingung 1) wird oft als Grund dafür angeführt, das Trägheitsgesetz als empirische Aussage aufzufassen. Betrachten wir dazu die Argumentation aus einem Physiklehrbuch. Es

65) NEWTON 1963, S. 32

66) STEGMÜLLER 1970, S. 138

wird dort festgestellt, daß das Trägheitsgesetz nur in einem nicht beschleunigten Bezugssystem gilt, wie "die alltägliche Erfahrung bestätigt". "Ist das Bezugssystem dagegen fest mit einem rotierenden Karussell verbunden, so treten auch beim Fehlen äußerer Kräfte Beschleunigungen auf." Und etwas später heißt es: "Wenn Sie in einem nichtbeschleunigten Bezugssystem in Ruhe oder in gleichförmiger Bewegung bleiben wollen, benötigen Sie keine Kräfte. Wollen Sie dagegen in einem beschleunigten Bezugssystem in Ruhe bleiben, dann müssen Sie Kräfte ausüben oder erfahren, z.B. indem Sie sich an einem Seil festhalten oder von einem Sitz gestützt werden."⁶⁷⁾

Es wird also behauptet, daß nur in unbeschleunigten Systemen, wie "die Erfahrung zeige", das Trägheitsgesetz Geltung hat. In beschleunigten Systemen dagegen müssen "Kräfte" aufgewendet werden, um in Ruhe oder in einer gleichförmigen, geradlinigen Bewegung zu bleiben. Dieser Rekurs auf die "Erfahrung", läßt das erste NEWTONsche Axiom als empirische Aussage erscheinen.

Wenn die Autoren darauf verweisen, daß man auf einem relativ zur Erde beschleunigten Karussell etwas anderes unternehmen muß, um eine gleichförmige Bewegung zu realisieren, als wenn man dies auf der Erde zustandebringen will, dann werfen sie genau den Gesichtspunkt in die Debatte, den wir als den die Auswahl eines dynamisch orientierten Bezugssystems leitenden schon erörtert haben. Doch muß man hier nicht mit dem Trägheitsprinzip argumentieren.

Es reicht, folgendes zu sagen: da Beschleunigungen von Körpern relativ zur Erde dynamisch relevant sind für die Realisierung von Bewegungsformen, insbesondere von geradlinig gleichförmigen Bewegungen, sind solche zur Erde beschleunigten Körper als allgemeine Bezugskörper geeignet, relativ zu

denen die mechanische Theorie formuliert wird. Man wählt stattdessen die Erde und später das Sonnensystem, da die beschleunigte Relativbewegung der Erde zum Sonnensystem dynamisch relevant für die Realisierbarkeit von Bewegungsformen ist.

Hat man aber die mechanische Theorie auf ein festes Bezugssystem bezogen und relativ zu ihm n Kräfte $k_1, \dots, k_n$ unterschieden, kommt jetzt die Bedingung 2) ins Spiel. Man wird nämlich in dem Bezugssystem dadurch eine geradlinige, gleichförmige Bewegung zu realisieren suchen, daß man einen Körper auf eine bestimmte Geschwindigkeit bringt und anschließend dafür sorgt, daß $k_1 = k_2 = \dots = k_n = 0$ ist.

Wird der Körper jetzt dennoch beschleunigt, so sucht man die festgestellte Abweichung von der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung auf eine der folgenden Weisen zu beheben:

- man unterscheidet eine weitere Kraft k_{n+1} und es wird, indem man auch noch $k_{n+1} = 0$ werden läßt, die geradlinige, gleichförmige Bewegung besser realisiert;
- man revidiert einen der Kraftwirkungsterme k_i und setzt an seine Stelle einen Term k'_i ; $k_1 = \dots = k'_i = \dots = k_n = 0$ gestattet dann eine Realisierung der geradlinigen, gleichförmigen Bewegung;
- man berücksichtigt die beschleunigte Relativbewegung des bisherigen Bezugssystems zu einem Bezugskörper S' und reformuliert die Theorie in Bezug auf S' ; mit Hilfe der auf S' bezogenen Kraftgesetze und unter Berücksichtigung der Relativbewegung von S zu S' gelingt es nun in S , geradlinige, gleichförmige Bewegungen besser zu realisieren.

Das Trägheitsgesetz aber wird von diesen Umbauten der Theorie überhaupt nicht betroffen. Es gilt als logischer Folgerung aus der Kraftdefinition in jedem Bezugssystem, auf das die aufzustellende Mechanik sinnvollerweise bezogen

wird. Die Schwierigkeiten, ein geeignetes Bezugssystem für die Mechanik aufzufinden, sollten nicht diskutiert werden als das Problem, ein Bezugssystem ausfindig zu machen, in dem das Trägheitsprinzip gilt. Nach unseren Überlegungen zu dynamisch orientierten Bezugssystemen ist vielmehr der Gesichtspunkt leitend, welche Relativbewegungen der Erde zu anderen Körpern berücksichtigt werden müssen, um mit Körpern auf der Erde und relativ zu ihr Bewegungsformen möglichst genau realisieren zu können. Das Problem ist dabei dann allerdings in der Tat, daß die Klasse der technisch zu beherrschenden Beschleunigungsverfahren, eben der Kräfte, durch die wir Bewegungsformen mit konkreten, materiellen physikalischen Körpern verwirklichen wollen, nicht definitiv abgeschlossen werden kann. Wir kennen nicht definitiv alle Kräfte, die man sinnvollerweise unterscheiden und technisch beherrschen muß, um beliebige Bewegungsformen mit beliebigen Körpern zu realisieren.

Nach dieser systematischen Argumentation ist das Trägheitsgesetz ein logisches Implikat der methodisch begründeten Konzeption des klassischen Massen- und Kraftbegriffs. Es ist also keine "empirische oder theoretische Tatsachenaussage", eine Deutungsmöglichkeit, die NAGEL und STEGMÜLLER ausdrücklich zulassen⁶⁸⁾.

68) Vgl. STEGMÜLLER 1970, S. 122 und NAGEL 1961, S. 178ff. Das Trägheitsgesetz als empirische Aussage aufzufassen, scheitert u. a. daran, daß entgegen der Behauptung von NAGEL und STEGMÜLLER kein "unabhängiges Kriterium für Kräftefreiheit" zur Verfügung steht. Man muß schon auf die Kraftdefinition $F = m a$ zurückgehen und "Kräftefreiheit" definieren durch $m a = 0$, woraus das Trägheitsgesetz, wie oben gezeigt, folgt. NAGELs Vorschlag, "Kraft" z.B. durch eine Anordnung mit einer Kraftfeder "operational" zu definieren, greift für das Trägheitsgesetz zu kurz: Mit der Federkraft ist allenfalls "eine Kraft" festgelegt, nicht aber alles, was in der Mechanik "Kraft" genannt wird. Im Trägheitsgesetz wird jedoch etwas über "alle Kräfte" ausgesagt. Federkräfte sind spezielle Beschleunigungsverfahren, die sich höchstens zur operationalen Massendefinition eignen würden, nicht aber zur generellen Kraftdefinition.

Auch die beiden anderen Deutungsmöglichkeiten, die nach NAGEL und STEGMÜLLER wahlweise für das Trägheitsgesetz akzeptiert werden können, scheiden nach kurzer Überlegung aus: das Trägheitsgesetz kann nicht genommen werden entweder als Kriterium für die Gleichheit von Längen oder als Kriterium für zeitliche Gleichheit⁶⁹⁾. Wir haben ausführlich dargelegt, wie die Längen- und Dauermessung allein über die euklidische Geometrie und die Gleichförmigkeit der Uhren methodisch begründet und in Gang gebracht werden können. Und erst wenn der Längen- und Dauernbegriff metrisch definiert worden sind, können der Massen- und der Kraftbegriff sinnvoll in die Theorie eingeführt werden. Über das Trägheitsgesetz ist Längen- bzw. Zeitgleichheit nicht definierbar, ohne die methodisch pragmatische Ordnung zu verletzen.

Zu behaupten, durch die vier sogenannten "NEWTONschen Axiome" würde die klassische Mechanik axiomatisiert, ist eine eher irreführende Feststellung. In der Tat sind das zweite NEWTONsche Axiom und das Prinzip der linearen Superposition konstitutiv für die klassische Mechanik, aber als methodische Anweisungen für die Theoriebildung, nicht als "oberste" deskriptive Sätze, aus denen die übrigen Gesetze der Mechanik logisch folgen. Außerdem ist das Trägheitsgesetz gar nicht logisch unabhängig vom zweiten NEWTONschen Axiom, so daß bei einer "Axiomatisierung" der klassischen Mechanik streng genommen auf es verzichtet werden kann. Die klassische Mechanik ist nicht axiomatisch sondern methodisch, durch ein System von Anweisungen für die Theoriebildung begründet.

69) Vgl. NAGEL 1961, S. 179-185 und STEGMÜLLER 1970, S. 121ff. .

Literaturverzeichnis

- | | | |
|---------------------------|------|--|
| BERGMANN/SCHÄFER | 1974 | Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 1: Mechanik, Akustik, Wärme
Berlin - New York |
| BERK, Ulrich | 1976 | Argumentationstheorie
Dissertation Erlangen |
| BÖHME, Gernot | 1976 | Ist die Protophysik eine Reinterpretation des Kantischen Apriori?
in: BÖHME (Hrsg.) 1976, S. 219-234 |
| BÖHME, Gernot (Hrsg.) | 1976 | Protophysik
Frankfurt a. M. |
| BROCKE/RÖHL/WESTMEYER | 1973 | Wissenschaftstheorie auf Abwegen? - Probleme der Holzkampfschen Wissenschaftskonzeption
Stuttgart-Berlin-Köln-Mainz |
| CARNAP, Rudolf | 1956 | The Methodological Character of Theoretical Concepts
in: FEIGL/SCRIVEN (Editors) Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Volume I, S. 38 - 76 |
| CARNAP/STEGMÜLLER | 1959 | Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit
Wien |
| CARNAP, Rudolf | 1961 | Der logische Aufbau der Welt (zweite unveränderte Auflage, erste Auflage 1928)
Hamburg |
| DIEDERICH, Werner (Hrsg.) | 1974 | Theorien der Wissenschaftsgeschichte - Beiträge zu einer diachronischen Wissenschaftstheorie
Frankfurt a. Main |
| DINGLER, Hugo | 1919 | Die Grundlagen der Physik - Synthetische Prinzipien der mathematischen Naturphilosophie
Berlin-Leipzig |
| DINGLER, Hugo | 1928 | Das Experiment - Sein Wesen und seine Geschichte
München |

- | | | |
|---------------------|------|---|
| DINGLER, Hugo | 1964 | Aufbau der exakten Fundamentalwissenschaft
München |
| EINSTEIN, Albert | 1972 | Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie
Braunschweig |
| ESSLER, Wilhelm K. | 1970 | Induktive Logik - Grundlagen und Voraussetzungen
Freiburg i. Br. |
| FALK/RUPPEL | 1975 | Mechanik, Relativität, Gravitation
Berlin-Heidelberg-New York |
| FEYERABEND, Paul | 1972 | Wissenschaftstheorie - eine bisher unbekannte Form des Irrsinns?
in: HÜBNER/MENNE (Hrsg.) 1973 |
| FEYERABEND, Paul | 1975 | Against Method - Outline of an anarchistic theory of knowledge
London |
| FEYNMAN | 1974 | Vorlesungen über Physik, Bd. 1, Teil 1
München-Wien |
| FLEISCHMANN, Rudolf | 1973 | Einführung in die Physik
Weinheim |
| GOLDSTEIN, Herbert | 1972 | Klassische Mechanik (2. Auflage)
Frankfurt a. M. |
| GOODMAN, Nelson | 1975 | Tatsache, Fiktion, Voraussage
Frankfurt a. M. |
| GRIMSEHL, | 1971 | Lehrbuch der Physik, Erster Band: Mechanik, Akustik, Wärmelehre (21. Aufl.)
Leipzig |
| HANSON, N.R. | 1969 | Patterns of Discovery
Cambridge |
| HEMPEL, Carl G. | 1974 | Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft
Düsseldorf |

- | | | |
|-----------------------------------|-------|---|
| HÜBNER/MENNE (Hrsg.) | 1973 | Natur und Geschichte,
X. Deutscher Kongreß für
Philosophie, Kiel 8. - 12.Ok-
tober 1972
Hamburg |
| INHETVEEN, Rüdiger | 1977 | Die Dinge des dritten Systems
in LORENZ (Hrsg.) 1977 |
| JANICH, Peter | 1969 | Die Protophysik der Zeit
Mannheim |
| JANICH/KAMBARTEL/
MITTELSTRASS | 1974 | Wissenschaftstheorie als
Wissenschaftskritik
Frankfurt a. M. |
| JANICH, Peter | 1973 | Zweck und Methode der Physik
aus philosophischer Sicht
Konstanz |
| JANICH, Peter | 1973a | Eindeutigkeit, Konsistenz
und methodische Ordnung:
normative versus deskriptive
Wissenschaftstheorie der
Physik
in: KAMBARTEL/MITTELSTRASS
(Hrsg.) 1973, S. 131 - 158 |
| JANICH, Peter | 1975 | Maß der Masse
Manuskript Konstanz |
| JANICH, Peter | 1976 | Ist Masse ein "theoretischer
Begriff"?
Vertragsmanuskript |
| JANICH, Peter | 1977 | Die Protophysik der Zeit
Manuskript der zweiten, we-
sentlich veränderten Fassung
von JANICH 1969 |
| KAMBARTEL, Friedrich | 1968 | Erfahrung und Struktur
Bausteine zu einer Kritik des
Empirismus und Formalismus
Frankfurt a. M. |
| KAMBARTEL/MITTELSTRASS
(Hrsg.) | 1973 | Zum normativen Fundament der
Wissenschaft
Frankfurt a. M. |
| KAMBARTEL, Friedrich
(Hrsg.) | 1974 | Praktische Philosophie und
Konstruktive Wissenschafts-
theorie
Frankfurt a. M. |
| KAMBARTEL, Friedrich | 1976 | Theorie und Begründung
Frankfurt a. M. |

- | | | |
|--------------------------|-------|---|
| KAMLAH/LORENZEN | 1973 | Logische Propädeutik
(2., verbesserte und er-
weiterte Auflage)
Mannheim-Wien-Zürich |
| KATTHAGE | 1975 | Die Eindeutigkeit des Drei-
plattenverfahrens
unveröffentl. Manuskript |
| KITTEL/KNIGHT/RUDERMAN | 1975 | Berkeley Physik Kurs I
Mechanik
Braunschweig |
| KRAFT, Viktor | 1968 | Der Wiener Kreis
2. erweiterte und verbesserte
Auflage
Wien-New York |
| KUHN, Thomas S. | 1973 | Die Struktur wissenschaft-
licher Revolutionen
Frankfurt a. M. |
| v. KUTSCHERA, Franz | 1972 | Wissenschaftstheorie I, II
München |
| LAKATOS/MUSGRAVE (Hrsg.) | 1974 | Kritik und Erkenntnisfort-
schritt
Braunschweig |
| LAKATOS, Imre | 1974 | Die Geschichte der Wissen-
schaften und ihre rationale
Rekonstruktion
in: LAKATOS/MUSGRAVE (Hrsg.)
1974, S. 271 - 312 |
| LAKATOS, Imre | 1974a | Falsifikation und die Metho-
dologie der Forschungspro-
gramme in LAKATOS/MUSGRAVE
(Hrsg.) 1974, S. 89 - 190 |
| LANDAU/LIFSCHITZ | 1973 | Lehrbuch der theoretischen
Physik, Bd. 1: Mechanik
Berlin |
| LENK, Hans (Hrsg.) | 1971 | Neue Aspekte der Wissen-
schaftstheorie
Braunschweig |
| LENZEN, Wolfgang | 1974 | Theorien der Bestätigung
wissenschaftlicher Hypothesen
Stuttgart- Bad Cannstatt |
| LORENZ, Kuno | 1970 | Elemente der Sprachkritik -
Eine Alternative zum Dogma-
tismus und Skeptizismus in
der Analytischen Philosophie
Frankfurt a. M. |

- | | | |
|----------------------|-------|---|
| LORENZ, Kuno (Hrsg.) | 1977 | Konstruktionen versus Positionen-Aufsätze zur Wissenschaftstheorie
Berlin-New York |
| LORENZEN, Paul | 1960 | Die Entstehung der exakten Wissenschaften
Berlin-Göttingen-Heidelberg |
| LORENZEN, Paul | 1961 | Das Begründungsproblem der Geometrie als Wissenschaft der räumlichen Ordnung
abgedruckt u.a. in: LORENZEN 7. |
| LORENZEN, Paul | 1962 | Metamathematik
Mannheim |
| LORENZEN, Paul | 1965 | Differential und Integral - Eine konstruktive Einführung in die klassische Analysis
Frankfurt a. M. |
| LORENZEN, Paul | 1969 | Einführung in die operative Logik und Mathematik (2. Aufl.
Berlin-Heidelberg-New York |
| LORENZEN, Paul | 1970 | Szientismus versus Dialektik u.a. in: KAMBARTEL (Hrsg.)
1974, S. 34 - 53 |
| LORENZEN, Paul | 1974 | Methodisches Denken
(erste Ausgabe 1968)
Frankfurt a. M. |
| LORENZEN/SCHWEMMER | 1975 | Konstruktive Logik, Ethik und Wissenschaftstheorie (2. verbesserte Auflage)
Mannheim |
| LORENZEN, Paul | 1976 | Eine konstruktive Theorie der Formen räumlicher Figuren
Manuskript Erlangen |
| LORENZEN, Paul | 1976a | Die Eindeutigkeit der Ebene
Manuskript Erlangen |
| LORENZEN, Paul | 1976b | Die Eindeutigkeit der Zeitmessung
Manuskript Erlangen |
| LORENZEN, Paul | 1976c | Zur Definition der vier fundamentalen Meßgrößen
in: Philosophia Naturalis
Bd. 16, Heft 1, 1976, S. 1 - 9 |
| LORENZEN, Paul | 1976d | Eine Revision der Einsteinschen Revision
Manuskript Erlangen |

- | | | |
|----------------------|-------|---|
| LORENZEN, Paul | 1976e | Relativistische Mechanik mit klassischer Geometrie und Kinematik
Manuskript Erlangen |
| LUDWIG, Günther | 1974 | Einführung in die Grundlagen der theoretischen Physik
Bd. 1: Raum, Zeit, Mechanik
Düsseldorf |
| MITTELSTRASS, Jürgen | 1970 | Neuzeit und Aufklärung - Studien zur Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft und Philosophie
Berlin-New York |
| MITTELSTRASS, Jürgen | 1972 | Metaphysik in der Methodologie der Naturwissenschaften in: HÜBNER/MENNE (Hrsg.)
1973 |
| MITTELSTRASS, Jürgen | 1974 | Die Möglichkeit von Wissenschaft
Frankfurt a. M. |
| NAGEL, Ernst | 1961 | The Structure of Science
London |
| POHL, Robert W. | 1969 | Mechanik, Akustik und Wärmelehre (17. Aufl.)
Berlin-Heidelberg-New York |
| POPPER, Karl R. | 1969 | Logik der Forschung (dritte, vermehrte Aufl.)
Tübingen |
| POPPER, Karl R. | 1974 | Objektive Erkenntnis - Ein evolutionärer Entwurf
Hamburg |
| REICHENBACH, Hans | 1968 | Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie
Braunschweig |
| RESNICK, Robert | 1975 | Einführung in die Spezielle Relativitätstheorie
Stuttgart |
| SCHWEMMER, Osswald | 1976 | Theorie der rationalen Erklärung - Zu den methodischen Grundlagen der Kulturwissenschaften
München |
| SEARLE, John | 1971 | Sprechakte - Ein sprachphilosophischer Essay
Frankfurt a. M. |

- | | | |
|----------------------|-------|---|
| SNEED, J. D. | 1971 | The Logical Structure of
Mathematical Physics
Dordrecht/Holland |
| SPINNER, Helmut | 1974 | Pluralismus als Erkenntnis-
modell
Frankfurt a. M. |
| STEGMÜLLER, Wolfgang | 1969 | Probleme und Resultate der
Wissenschaftstheorie und
Analytischen Philosophie
Bd. I: Wissenschaftliche Er-
klärung und Begründung
Berlin-Heidelberg-New York |
| STEGMÜLLER, Wolfgang | 1970 | Probleme und Resultate der
Wissenschaftstheorie und Ana-
lytischen Philosophie
Bd. II: Theorie und Erfahrung
Berlin-Heidelberg-New York |
| STEGMÜLLER, Wolfgang | 1970a | Aufsätze zur Wissenschafts-
theorie
Darmstadt |
| STEGMÜLLER, Wolfgang | 1971 | Das Problem der Induktion -
Humes Herausforderung und
moderne Antworten
in: Lenk (Hrsg.) 1971,
S. 13 - 74 |
| STEGMÜLLER, Wolfgang | 1973 | Probleme und Resultate der
Wissenschaftstheorie und
Analytischen Philosophie
Bd. IV: Personelle und Sta-
tistische Wahrscheinlichkeit
Berlin-Heidelberg-New York |
| STEGMÜLLER, Wolfgang | 1973a | Probleme und Resultate der
Wissenschaftstheorie und
Analytischen Philosophie
Bd. II: Theorie und Erfahrung
zweiter Halbband
Berlin-Heidelberg-New York |
| STEGMÜLLER, Wolfgang | 1974 | Theoriendynamik und logisches
Verständnis
in: DIEDERICH (Hrsg.) 1974 |
| STRÖKER, Elisabeth | 1968 | Falsifizierbarkeit als Kenn-
zeichen naturwissenschaftli-
cher Theorien
in: Kant-Studien, Bd. 59,
S. 495 - 512 |
| STRÖKER, Elisabeth | 1973 | Einführung in die Wissen-
schaftstheorie
Darmstadt |

- | | | |
|--------------------|------|---|
| STRÖKER, Elisabeth | 1974 | Geschichte als Herausforderung
in: Neue Hefte für Philosophie, Heft 6/7, S. 27 - 66 |
| THÜRING, Bruno | 1967 | Die Gravitation und die philosophischen Grundlagen der Physik
Berlin |
| WESTMEYER, H. | 1973 | Störende Bedingungen und Exhaustion - Eine logische Analyse
in: BROCKE/RÖHL/WESTMEYER
1973, S. 83 - 129 |
| v. WRIGHT, G.H. | 1974 | Erklären und Verstehen
Frankfurt a. M. |
| ZILSEL, Edgar | 1976 | Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft
Frankfurt a. M. |

Ich bin am 9. Oktober 1948 als Sohn des Landwirts Sophus Tetens und seiner Ehefrau Roserrie, geb. Altenbernd in Oerlinghausen, Kreis Lemgo geboren. Seit 1955 lebt die Familie in Bremen, wo ich die Volksschule und von 59 bis 68 das Gerhard-Rohlf's-Gymnasium in Bremen-Vegesack besucht habe. Nach dem Abitur 1968 nahm ich an der Ruhr-Universität Bochum das Studium der Philosophie (Hauptfach) und Mathematik (Nebenfach) an. Seit dem Wintersemester 70/71 studiere ich im Hauptfach Philosophie und in den Nebenfächern Mathematik und Soziologie an der Universität Erlangen-Nürnberg, vornehmlich bei Professor Lorenzen, unter dessen Förderung auch die vorliegende Arbeit entstanden ist.

